

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GILBERTO JOSE PIEROZAN JUNIOR

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS DE CONCRETO
COM BASE NA ABNT NBR 15575

FLORIANÓPOLIS

2016

GILBERTO JOSE PIEROZAN JUNIOR

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS DE
CONCRETO COM BASE NA ABNT NBR 15575**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado pelo acadêmico Gilberto
Jose Pierozan Junior à banca
examinadora do Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Civil.

ORIENTADORA: PROF. LISIANE ILHA LIBRELOTTO, DR. ENG.

FLORIANÓPOLIS

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pierozan Junior, Gilberto Jose

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM BLOCOS
DE CONCRETO COM BASE NA ABNT NBR 15575 / Gilberto Jose
Pierozan Junior ; orientadora, Lisiane Ilha Librelotto -
Florianópolis, SC, 2016.

121 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Alvenaria estrutural. 3. Blocos
de concreto. 4. Norma de desempenho. I. Librelotto,
Lisiane Ilha. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

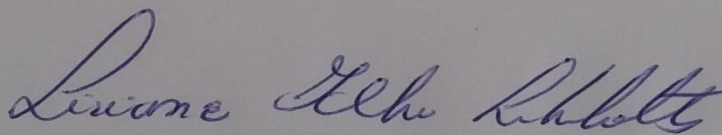
GILBERTO JOSE PIEROZAN JUNIOR

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO COM BASE NA
ABNT NBR 15575**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil,
e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 30 de junho de 2016.

Banca Examinadora:



Prof. Lisiane Ilha Librelotto, Dra.
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Carlos de Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Victor Staub de Melo, Phd.
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

O crescimento do mercado da construção civil gera uma demanda por sistemas construtivos que consigam juntar economia, prazo e qualidade técnica. A alvenaria estrutural se apresenta como uma solução para esse problema, sendo considerado um sistema construtivo racionalizado de baixo custo e relativa facilidade executiva. Porém, mesmo em construções de baixo custo a qualidade da edificação deve ser levada em conta. A ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho entra em vigor em 2013 com o objetivo de garantir que o consumidor final receba um produto com padrões de qualidade mínimos bem definidos. Esse trabalho possibilitou analisar o desempenho do sistema em Alvenaria Estrutural com blocos de concreto em vista dos requisitos NBR 15575, verificando o atendimento aos critérios de desempenho trazidos pela norma. Através da análise de resultados de ensaios obtidos por análise bibliográfica foi constatado que o sistema consegue atender a todos os requisitos da norma desde que se tome cuidado com alguns aspectos construtivos como a escolha do revestimento a ser utilizado. Em análise comparativa, constatou-se também que o sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto tem um desempenho superior a outros sistemas construtivos racionalizados do mercado.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, Blocos de concreto, Norma de desempenho, Análise de desempenho.

ABSTRACT

The growth of the construction market generates demand for building systems that are able to join economy, time and technical quality. The structural masonry is presented as a solution to this problem, being considered a building system streamlined with low cost and relatively ease execution. But even in low-cost construction the quality of the building should be taken into account. The NBR 15575 - Building Housing - Performance enter into force in 2013 in order to ensure that the final consumer receives a product with well-defined minimum quality standards. This study made it possible to analyze the performance of the system in Structural Masonry with concrete blocks in view of NBR 15575 requirements, verifying compliance with performance criteria brought by the standard. Through the analysis of test results obtained by literature review it was found that the system can meet all the requirements of the standard as long as care is taken with some constructive aspects as the choice of coating to be used. In comparative analysis, it was also found that the building system in structural masonry concrete block has superior performance to other building systems streamlined market

Keywords: Structural masonry, Concrete blocks, Performance, Analysis.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pirâmide Queóps, 2500 a.C.	15
Figura 2 - Edifício Monadnock	16
Figura 3 - Prédio em Alvenaria Estrutural em Jundiaí - SP	18
Figura 4 - Limpeza e organização em construções em Alvenaria.	20
Figura 5 - Tipos de Blocos de Alvenaria Estrutural e suas funções.	23
Figura 6 - Grauteamento de canaleta.....	25
Figura 7 – Parede estrutural de bloco de concreto.....	26
Figura 8 - Alinhamento da marcação	29
Figura 9 - Alinhamento de fiada	30
Figura 10 - Paginação de parede	30
Figura 11 - Bloco canaleta locado.....	31
Figura 12 - Cinta de Amarração.....	32
Figura 13 - Montagem dos quadros estruturais e fechamento das faces externas.....	33
Figura 14 - Interface do steel frame com tubulações	34
Figura 15 - Reforço para fixação de peças suspensas.....	34
Figura 16 - Paginação das placas cimentícias em aberturas	35
Figura 17 - Conjunto habitacional Viver Canoas, Canoas - RS.....	36
Figura 18 - Bateria de formas metálicas para montagem dos painéis.....	36
Figura 19 - Golas das lajes na fachada.....	37
Figura 20 - Fôrma para grauteamento da ligação dos painéis	37
Figura 21 - Montagem das armaduras dos painéis, dos espaçadores e eletrodutos	38
Figura 22 - Montagem dos painéis mistos	39
Figura 23 - Sequência de concretagem dos painéis mistos.....	39
Figura 24 - Montagem dos pilares na fundação.....	40
Figura 25 - Distribuição da armadura negativa e eletrodutos	41

Figura 26 - Tabela de impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento	63
Figura 27- Tabela de impacto de corpo mole para vedações verticais internas	64
Figura 28 - Divisão das zonas bioclimáticas conforme condições de exposição	71
Figura 29 - Protótipo pós-impacto	81
Figura 30 - Protótipo antes do ensaio.....	85
Figura 31 - Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas.....	85
Figura 32 - Ensaio de resistência às solicitações de peças suspensas	87
Figura 33 - Tabela de critérios de Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão e inverno	90
Figura 34 - Condições climáticas adotadas na simulação computacional	90
Figura 35 - Planta baixa da edificação.....	91
Figura 36- Acoplamento da câmara de ensaio a parede	101
Figura 37 - Ensaio de infiltração decorrente da ocupação do imóvel	102
Figura 38 - Andamento do ensaio de estanqueidade.....	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Traços recomendados para argamassa de assentamento	24
Tabela 2- Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão.....	47
Tabela 3- Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno.....	47
Tabela 4- Vida Útil de Projeto*	49
Tabela 5 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis	51
Tabela 6 - Deslocamentos-limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral.....	53
Tabela 7 - Flechas máximas para vigas e lajes.....	54
Tabela 8 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público – Impacto de corpo mole na face externa, ou seja, de fora para dentro	55
Tabela 9 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior e na fachada da edificação – Impacto de corpo mole aplicado na face interna, ou seja, de dentro pra fora	56
Tabela 10 - Critérios e níveis de desempenho para impactos de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada da edificação e nas faces externas acessíveis ao público	57
Tabela 11 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e na fachada	57
Tabela 12 -Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrências de falhas sob ação de cargas de serviços.....	61
Tabela 13- Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão francesa	62
Tabela 14 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas.....	66
Tabela 15 - Impactos de corpo duro para vedações verticais internas.....	66
Tabela 16 - Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442.....	68
Tabela 17 - Transmitância térmica de paredes externas	70
Tabela 18 - Capacidade térmica das paredes externas.....	71

Tabela 19 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa de dormitório	72
Tabela 20 - Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ...	73
Tabela 21-Normas bases das metodologias de ensaio	76
Tabela 22 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento.....	80
Tabela 23 - Resultado do ensaio de impacto de corpo mole	81
Tabela 24 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas).....	82
Tabela 25 - Impactos de corpo duro para vedações verticais internas	82
Tabela 26 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro (externo)	83
Tabela 27 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro (impacto interno)	84
Tabela 28 - Cargas de ensaio, critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão e respectivos níveis de desempenho.....	86
Tabela 29 - Resultados finais para carga aplicada em mão-francesa~	87
Tabela 30 - Coeficiente de condutividade térmica dos materiais	88
Tabela 31 - Determinação da transmitância térmica e capacidade térmica	89
Tabela 32- Dados do edifício.....	91
Tabela 33 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 1 com absorvância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,3$ (cor clara).....	93
Tabela 34 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 1 com absorvância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,7$ (cor escura)	94
Tabela 35 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 2 com absorvância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,3$ (cor clara).....	95
Tabela 36 - Resultado para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 2 com absorvância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,7$ (cor escura)	96
Tabela 37 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas.....	97
Tabela 38 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes	98
Tabela 39 - Resultados de desempenho acústico (ISO 10140-2).....	99

Tabela 40 - Classificação do desempenho acústico em função de R_w	99
Tabela 41 - Estanqueidade à água de vedações verticais externas e esquadrias	103
Tabela 42 - Tempos requeridos de resistência ao fogo	107
Tabela 43 - Síntese dos resultados do relatório 22/2014 – Leme/UFRGS - Parede com blocos de concreto sem função estrutural (14x19x39) cm - ABNT NBR 10636	108
Tabela 44 - Síntese dos resultados do relatório 23/2014 – Leme/UFRGS - Parede com blocos de concreto com função estrutural (14x19x39) cm - ABNT NBR 5628	109
Tabela 45 - Síntese dos resultados de desempenho	112
Tabela 46 - Comparativo de desempenho entre sistemas construtivos racionalizados.....	113

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2. JUSTIFICATIVA.....	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo Geral.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. QUESTÕES DE PESQUISA.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. ALVENARIA ESTRUTURAL.....	15
2.1.1. Histórico.....	15
2.1.2. Características da alvenaria estrutural.....	18
2.1.3. Componentes e elementos da alvenaria estrutural.....	21
2.1.4. Execução e recomendações técnicas.....	27
2.2. OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS RACIONALIZADOS.....	33
2.2.1. Light steel frame.....	33
2.2.2. Painéis maciços pré-moldados de concreto armado.....	35
2.2.3. Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural.....	38
2.3. NORMA ABNT NBR 15575.....	41
2.3.1. Parte 1: Requisitos Gerais.....	43
2.3.2. Parte 2: Sistemas estruturais.....	52

2.3.3.	Parte 4: Sistemas de vedação vertical interna e externa	59
3.	METODOLOGIA.....	75
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
4.1.	DESEMPENHO ESTRUTURAL	79
4.1.1.	Impacto de corpo-mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas com função estrutural	79
4.1.2.	Impacto de corpo-duro incidente nos SVVIE com função estrutural.....	82
4.1.3.	Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedações internas e externas.....	85
4.2.	DESEMPENHO TÉRMICO	88
4.3.	DESEMPENHO ACÚSTICO.....	97
4.4.	ESTANQUEIDADE	100
4.4.1.	Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas decorrentes da ocupação do imóvel	100
4.4.2.	Infiltração de água nos sistemas de vedação verticais externas	102
4.5.	SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	106
4.6.	SUSTENTABILIDADE	110
4.6.1.	Durabilidade	110
4.6.2.	Impacto ambiental	111
4.7.	SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARATIVO	112
5.	CONCLUSÃO	114
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	115
	REFERÊNCIAS	116

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Apesar da queda de 5,5% no PIB (produto interno bruto) no ano de 2015 (IBGE, 2015), o setor da construção civil apresentou um crescimento exponencial nas duas últimas décadas. Só no ano de 2012, por exemplo, foram criados 40148 CNPJs (cadastro nacional de pessoa jurídica) relacionados a obras de alvenaria (SEBRAE, 2015). Esse crescimento de mercado da construção civil é um reflexo direto do crescimento extraordinário do mercado imobiliário dos últimos anos, que gera uma demanda por sistemas construtivos que consigam juntar economia, prazo e qualidade técnica.

A alvenaria estrutural é uma das propostas para lidar com isso. Com um custo baixo e uma promessa de facilidade executiva, o sistema possibilita a construção num prazo geralmente menor do que a alvenaria comum. Porém, além de ser necessário lidar com algumas desvantagens intrínsecas ao método construtivo, como por exemplo a dificuldade de se modificar ambientes depois de executado, é necessário que se tenha cuidado com o desempenho final que esse oferece.

É nesse contexto que a NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho vem a ser elaborada. Vigente desde 12 de maio de 2015, ela tem por objetivo garantir um padrão de qualidade para o cliente final, o morador, parametrizando o que é aceitável como desempenho mínimo em diversos quesitos.

1.2. JUSTIFICATIVA

Com a introdução da NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho nossas formas de construir precisam ser repensadas. Se antes os critérios de desempenho ficavam simplesmente por conta do bom senso, agora eles possuem valores objetivos e bem definidos. Por ser um sistema utilizado geralmente por quem procura rapidez e baixo custo, como por exemplo em moradias subsidiadas por programas sociais, muitas vezes a busca pela qualidade é deixada em segundo plano. Em vista disso, faz-se necessário um estudo que aponte em quais requisitos o sistema construtivo em alvenaria estrutural obtém um resultado satisfatório e em quais o

sistema deixa a desejar, para que assim se possa buscar soluções para melhorar o desempenho da edificação que faz o uso desse sistema nesses aspectos com desempenho insatisfatório.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar o desempenho do sistema em Alvenaria Estrutural com blocos de concreto, em vista da introdução da NBR 15575 Edificações Habitacionais – Desempenho, verificando o atendimento ou a viabilidade de atendimento desse método construtivo aos requisitos trazidos pela norma.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Fazer uma busca bibliográfica de ensaios e laudos técnicos que apontem as características de desempenho dos blocos estruturais de concreto.
- Comparar as características de desempenho obtidas nesses testes com as requeridas pela ABNT NBR 15575.
- Analisar a viabilidade de atendimento à norma do sistema construtivo estudado ou mudanças que viabilizem esse atendimento.
- Fazer um comparativo entre o desempenho acústico, térmico e contra incêndio entre o sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto com sistemas racionalizados não-convencionais, estruturais e não estruturais.

1.4. QUESTÕES DE PESQUISA

A alvenaria estrutural atende aos critérios mínimos exigidos pela NBR 15575? Se não, que ajustes ou melhorias no método construtivo poderiam ser feitos a fim de que atenda?

1.5. DELIMITAÇÕES DE PESQUISA

O presente trabalho não se propõe à realização de ensaios, mas à análise de ensaios realizados por terceiros. Requisitos de desempenho que não dizem respeito ao método estrutural ou de vedação utilizados não serão abordados nesse trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será feita uma revisão bibliográfica dos temas abordados para obtenção de embasamento teórico para a execução desse trabalho. Serão pesquisados livros e artigos sobre alvenaria estrutural e a norma ABNT NBR 15575.

2.1. ALVENARIA ESTRUTURAL

2.1.1. Histórico

A alvenaria estrutural tem suas origens na pré-história, sendo um dos mais antigos sistemas de construção utilizados na história da humanidade. As edificações em alvenaria estão, não somente hoje como também nas civilizações antigas (figura 1), entre as construções com maior aceitação pelo homem (DUARTE, 1999). As primeiras obras conhecidas construídas em alvenaria eram de pedra ou tijolo cerâmico seco ao sol, sendo que as mais imponentes costumavam apresentar grande espessura devido à falta de conhecimentos de engenharia como características resistentes dos materiais ou procedimentos de cálculo estrutural (CAVALHEIRO, 2015).

Figura 1 - Pirâmide Queóps, 2500 a.C.



Fonte: BBC(2010)

Por volta do século XVII, a alvenaria estrutural passou a ser tratada como uma tecnologia de construção civil, quando os princípios de estatística foram aplicados para a investigação da estabilidade de arcos e domos (HENDRY, 2002). Ainda segundo o mesmo autor, no fim do século XIX os edifícios em alvenaria estrutural foram construídos com espessura excessiva de parede.

Como exemplo, temos o edifício Monadnock em Chicago. O edifício Monadnock (figura 2) foi considerado um símbolo da alvenaria estrutural moderna no fim de sua construção, em 1893, mesmo com suas paredes de base tendo dimensões de 1,80m (CORRÊA, 2003) e ainda é, com 60m de altura, um dos edifícios mais altos construídos em alvenaria estrutural (STEVENS, 2010). Essa espessura foi considerada limite dimensional máximo para estruturas de alvenaria calculadas pelos métodos empíricos ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (1990). Se fosse dimensionado pelos métodos utilizados atualmente, com os mesmos materiais, a espessura dessas paredes de 1,80m seriam inferiores a 30cm (CORRÊA, 2003).

Figura 2 - Edifício Monadnock



Fonte: BURNHAM e ROOT (2010).

Devido ao alto desperdício de espaço provocado pelas espessas paredes de alvenaria estrutural somado à evolução dos métodos de cálculo e tecnologia do metal, no fim do século XIX as estruturas em alvenaria estrutural começam a perder espaço para as estruturas de aço, resultando assim em aproveitamento dos espaços outrora perdidos pelas construções até então construídas predominantemente em alvenaria estrutural (CAVALHEIRO, 2015). Ainda segundo Cavalheiro, o aprimoramento do cimento associado ao domínio do aço fez com que as estruturas de concreto armado se tornassem juntamente das estruturas metálicas os sistemas estruturais predominantes até a metade do século, tanto pela menos área útil ocupada quando pela economia em relação às pesadas obras em alvenaria estrutural

Durante 50 anos, a alvenaria estrutural teve poucas aplicações na construção de edifícios, algo que começou a mudar a partir de 1950. A segunda guerra mundial (1939-1945) causou uma escassez nos materiais de construção na Europa, principalmente do aço. Começam então a surgir normas com base em cálculos mais racionais e experimentações laboratoriais, permitindo calcular a espessura necessária das paredes e a resistência da alvenaria com maior precisão e menor desperdício, tanto de material quanto de espaço (CAVALHEIRO, 2015). Isso se dá principalmente na Suíça, devido a inexistência de indústrias de aço na região (HENDRY, 2002). O método construtivo em alvenaria estrutural ganha força após a construção de um edifício de 13 pavimentos na Basileia, Suíça. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), esse edifício foi um marco importante na história da alvenaria estrutural, pois suas paredes internas foram reduzidas à espessura de 15cm e as paredes externas a 37,5cm de espessura. Era a solução pro problema da falta de aço daquele momento histórico, ao mesmo tempo em que resolvia os problemas do desperdício de espaço causados pelas grandes espessuras das paredes encontradas em prédios mais antigos construídos em alvenaria estrutural. Nas décadas que se seguiram, o interesse pela alvenaria estrutural se espalhou pela Europa, alavancado principalmente por programas públicos (HENDRY, 2002).

No Brasil, a alvenaria estrutural vem sendo utilizada desde o século XVII (RAMALHO e CORRÊA, 2003). As primeiras estruturas autoportantes eram de taipa, pau a pique, alvenaria adobe, cantanaria e alvenaria de tijolos. (KAGEYAMA, KISSHI e MEIRELLES, 2009). Porém, somente a partir da década de 70 é que ela vem a ser tratada como uma tecnologia de engenharia, através de projeto estrutural baseado em princípios validados cientificamente (RAMALHO e CORRÊA, 2003). Foi quando as exigências de mercado obrigaram a indústria do bloco cerâmico a ter controle de qualidade e padronização (KAGEYAMA, KISSHI e MEIRELLES, 2009).

A partir da década de 80, após anos de desenvolvimento e adaptação da tecnologia no país, a alvenaria estrutural se consolida no Brasil através da normalização oficial consistente e razoavelmente ampla (SABATTINI, 2003).

Hoje, o Brasil já conta com diversas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural. Em São Paulo, Minas Gerais e Goiás, não é raro de se ver edifício de 10 a 20 pavimentos sendo construídos em alvenaria estrutural, conforme figura 3. (CAVALHEIRO, 2015).

Figura 3 - Prédio em Alvenaria Estrutural em Jundiaí - SP



Fonte: ABCP (2011)

2.1.2. Características da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um processo construtivo onde a estrutura da edificação é formada pelas próprias paredes. A alvenaria estrutural substitui os dois principais sistemas de uma construção: a estrutura, que geralmente é feita em concreto armado, e a vedação, geralmente feita utilizando blocos sem resistência ou função estrutural. A execução, quando bem planejada, é mais rápida que o sistema convencional (SANTOS, 2015). Tem-se nesse sistema construtivo uma interessante alternativa principalmente para a construção de habitações de interesse social.

Existem dois tipos de alvenaria estrutural: a armada e a não-armada. A alvenaria estrutural armada é aquela na qual os elementos resistentes recebem armaduras de aço, por necessidade estrutural. Essas armaduras são colocadas nas cavidades dos blocos que

posteriormente são preenchidas com graute. A alvenaria armada é recomendada para a construção de edificações com mais de 20 pavimentos (SALEMA,2014). A alvenaria estrutural não-armada é aquela que possui reforços metálicos apenas em cintas, vergas, contravergas, na amarração entre paredes e nas juntas horizontais, com a finalidade de evitar fissuras localizadas. A alvenaria ainda pode ser classificada em função do material dos elementos resistentes, podendo ser de concreto, cerâmica ou sílico-calcária.

Projetos de alvenarias mistas, que misturam alvenaria armada com não-armada em uma mesma edificação, muitas vezes se mostram uma opção tecnicamente viável e economicamente favorável. Nesses projetos, parte dos elementos resistentes são projetados como armados, ficando o restante sem armação.

A construção em alvenaria estrutural permite a aplicação da técnica de coordenação modular, onde todas as dimensões da obra são valores múltiplos de uma unidade básica, que dependem da família de blocos que será utilizada na construção. Assim, define-se a posição exata e o tipo de bloco que será usado em cada ponto de cada parede, evitando improvisações. Além disso, a integração com os sistemas elétrico e hidrossanitário permitem uma execução rápida, limpa e simplificada. Com o embutimento das tubulações evitam-se cortes, desperdício de material e problemas que poderiam gerar atrasos e desperdício de tempo, além de facilitar a execução desses sistemas. O uso de armadura e formas é minimizado na alvenaria estrutural, reduzindo ainda mais custos, desperdícios e, consequentemente, impactos ambientais.

Outra vantagem do sistema é o controle de qualidade maior aplicado em blocos com função estrutural, que garantem precisão dimensional, permitindo aplicação direta de revestimentos internos. Obras em alvenaria estrutural são também mais limpas e organizadas, (figura 4) A eliminação da estrutura convencional leva a uma simplificação no processo construtivo, reduzindo etapas de mão-de-obra, resultando em redução do tempo de execução.

Figura 4 - Limpeza e organização em construções em Alvenaria.



Fonte: Wetterlt (2012)

Por outro lado, a alvenaria estrutural apresenta algumas desvantagens em relação ao método construtivo convencional. Caso queira fazer alguma alteração no projeto arquitetônico, o morador deverá primeiro consultar o projetista, visto que as paredes possuem funções estruturais, podendo ser comparado a derrubada de uma parede de alvenaria estrutural como a retirada de um pilar ou viga de uma construção (BIANCO, 2015). Muitas vezes as mudanças desejadas não são tecnicamente possíveis de serem feitas, limitando assim as possibilidades de quem adquirir um imóvel construído em alvenaria estrutural. Outra limitação relacionada a ambientes se dá na fase de projeto, onde o projetista deve tomar cuidado com grandes vãos e balanços, podendo tornar o projeto estrutural técnica ou economicamente inviável.

Apesar de ser um sistema com alguns anos de uso no Brasil, não há muita mão-de-obra especializada no Brasil. Deve-se tomar o cuidado de treinar a mão-de-obra disponível para que entendam as particularidades do sistema construtivo, bem como fornecer as ferramentas adequadas para o trabalho (BIANCO, 2015).

Alguns cuidados especiais são necessários na construção em alvenaria estrutural. Em caso de chuva, por exemplo, as paredes recém assentadas devem ser protegidas com lonas plásticas, ou corre-se o risco de perder o trabalho realizado, sendo necessário a derrubada da parede e a sua reconstrução devido a perda de resistência da massa e mudança do nível das fiadas que assentam excessivamente sob chuva. Em obra, isso é chamado coloquialmente de

‘lavar a alvenaria’. Além disso, deve-se ter um cuidado maior nas juntas verticais entre blocos, visto que não é recomendado que se corte blocos pra fechar a dimensão da parede. Cuidados também devem ser dobrados com relação ao prumo, sendo necessária uma conferência mais regular do que na alvenaria convencional, buscando maior precisão. O ideal é que se confira a cada 3 ou 4 fiadas, garantindo que a não se criem cargas de segunda ordem devido a excentricidade (WETTER, 2015).

2.1.3. Componentes e elementos da alvenaria estrutural

Consideraremos um elemento de alvenaria estrutural uma parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes, enquanto os componentes são as menores partes constituintes da estrutura (bloco, junta de argamassa, etc.).

a) Bloco:

Componente básico da alvenaria. São os componentes mais importantes que compõem a alvenaria estrutural porque comandam a resistência a compressão e determinam os procedimentos para aplicação da técnica de coordenação modular nos projetos (CAMACHO, 2001). As unidades podem ser maciças ou vazadas, sendo as primeiras denominadas tijolos e a segunda blocos. Para Roman, Mutti e Araújo (1999), tijolos possuem dimensões máximas de 250x120x55mm, sendo que unidades com dimensões superiores devem ser denominadas blocos. Além de ter as resistências especificadas em projeto, os blocos devem atender a algumas normas, como a ABNT NBR 15270-2 – Componentes Cerâmicos, caso o bloco seja cerâmico, e a ABNT NBR 6.136 – Requisitos para Blocos de Concreto, caso o bloco seja de concreto. A figura 5 mostra alguns tipos de blocos com diferentes funções.

Para a utilização em alvenaria estrutural os blocos devem apresentar resistência a compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional. (ROMAN, MUTTI e ARAUJO, 1999). São 3 os tipos de blocos: blocos de concreto, blocos cerâmicos e blocos silico-calcários. Os blocos de concreto são atualmente os mais utilizados na construção em sistemas de alvenaria estrutural devido a sua facilidade de fabricação e alta resistência, entre outros

fatores. Especificamente no sul do Brasil os blocos mais utilizados são os cerâmicos, devido a argila de boa qualidade da região e a existência de empresas cerâmicas com avançada tecnologia.

a.1) Blocos de concreto:

Obtidos pela mistura e cura do cimento Portland, agregados e água. Os blocos padrões possuem resistência à compressão que variam entre 6 e 15 MPa, podendo chegar até 20 MPa em casos especiais. A norma ABNT NBR 6136 classifica os blocos de concreto de acordo com a sua resistência característica à compressão axial, definindo a utilização de cada bloco de acordo com essa classificação.

Os blocos estruturais são divididos em famílias de dimensões. Cada família possui blocos de dimensões definidas de maneira que seja possível a amarração completa da estrutura, sem a necessidade de improvisações.

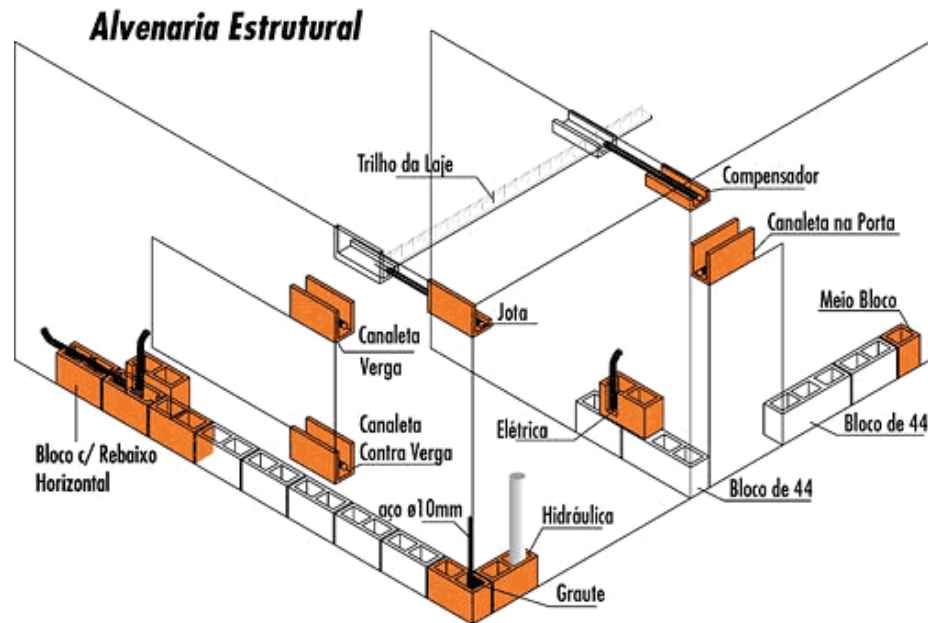
a.2) Blocos cerâmicos:

A qualidade desses blocos está diretamente ligada a qualidade da argila empregada na fabricação e ao processo de fabricação (ROMAN, MUTTI e ARAÚJO, 1999). As unidades são montadas em máquinas extrusoras, expostas a secagem e queimadas sob temperaturas muito elevadas, apresentando uma porosidade muito baixa (SANTOS, 2006).

a.3) Blocos sílico-calcários:

Unidades de alvenaria compostas por uma mistura homogênea e adequadamente proporcionada de cal e areia quartzosa moladas por prensagem e curadas por vapor de pressão (ROMAN, MUTTI e ARAÚJO, 1999). Esses são os blocos menos utilizados dentre os 3.

Figura 5 - Tipos de Blocos de Alvenaria Estrutural e suas funções.



Fonte: Cerâmicas Salema (2010)

b) Argamassa de assentamento:

A argamassa, na alvenaria estrutural, tem a função de ligação entre os blocos, uniformizando o apoio entre eles, além de propiciar aderência com as armaduras nas juntas e compensar as variações dimensionais dos blocos. A argamassa de assentamento é composta tradicionalmente de cimento, cal e areia. Argamassas mais fortes, compostas apenas de cimento e areia, não são recomendadas na alvenaria estrutural, pois são muito rígidas, prejudicando a sua capacidade de absorver deformações. (SELECTA, 2015). Em contrapartida, argamassas muito fracas, como por exemplo argamassas compostas apenas de cal e areia, tem resistência à compressão e aderência muito baixas, o que acaba prejudicando a resistência da parede como um todo. Nem sempre o aumento da resistência da argamassa resulta no aumento da resistência da parede (GUIMARÃES, 2014). A resistência recomendada para a argamassa é de 70% da resistência do bloco utilizado (SELECTA, 2015). Exigências de projetos também devem ser consideradas.

Para a definição do traço da argamassa de assentamento devem ser realizados ensaios com antecedência adequada à fase de assentamento da alvenaria, em laboratório, com os mesmos materiais que serão utilizados na obra e dos mesmos fornecedores, garantindo que a argamassa utilizada nos ensaios tenha as mesmas características da que será posteriormente utilizada na obra. Esses procedimentos servem tanto para as argamassas industrializadas quanto as não industrializadas, feitas *in loco*.

Algumas argamassas são dosadas sem a introdução da cal hidratada. Essa ausência pode ser compensada com a adição de outros componentes como: aditivos plastificantes, incorporadores de ar e retentores de água. Os resultados finais em termos de aderência, módulo de deformação e outros requisitos devem ser os mesmos. (THOMAZ e HELENE, 2000).

A ASTM (1987) recomenda os traços indicados na tabela a seguir:

Tabela 1- Traços recomendados para argamassa de assentamento

Tipo de argamassa	Traço em volume			Resistência média aos 28 dias (MPa)
	cimento	Cal hidratada	areia	
M	1	0,25	2,8 a 3,8	17,2
S	1	0,25 a 0,5	2,8 a 4,5	12,4
N	1	0,5 a 1,25	3,4 a 6,8	5,2
O	1	1,25 a 2,5	5,0 a 10,5	2,4
K	1	2,5 a 4,0	7,9 a 15,0	0,5

Fonte: ASTM (1987)

Os traços indicados na tabela são apenas referenciais pois os materiais podem mudar dependendo do fornecedor e do local extraído, sendo necessários ajustes do traço em função da característica de cada material utilizado.

c) Graute

O graute é um concreto composto de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir trabalhabilidade e retenção de água de hidratação à mistura (ABNT, 1985). Pode também ser adicionado à mistura aditivos plastificantes.

O graute é utilizado para preencher os vazios dos blocos onde se deseja, por questões de projetos, aumentar a resistência à compressão das paredes, e também para o preenchimento dos blocos canaletas (SELECTA, 2015), conforme figura 6. Nos furos verticais pode estar acompanhado ou não de armadura. Quando a armadura estiver presente, o graute deve aderir tanto a ela quanto ao bloco completamente, garantindo que os dois formem um conjunto realmente único. Além disso, o graute tem a função de prevenir a corrosão da armadura.

Os agregados do graute devem ter dimensões de no máximo 9,5mm para que apresente alta fluidez, podendo assim preencher adequadamente os vazios dos blocos onde serão lançados. (CAMACHO, 2006).

Figura 6 - Grauteamento de canaleta



Fonte: ABCP (2014)

d) Armadura:

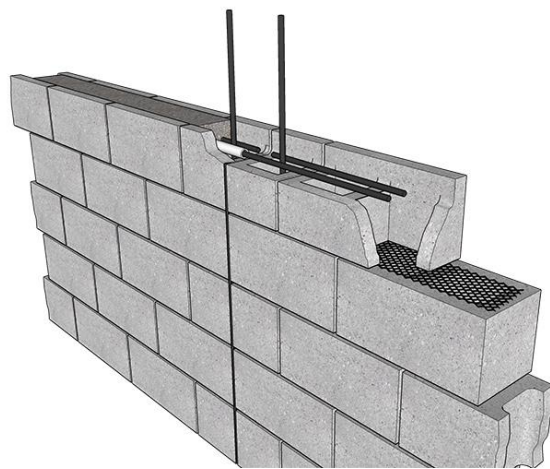
As armaduras conforme já comentado, são utilizadas juntamente com o graute. Possui a função de absorver os esforços de tração e de cisalhamento do conjunto estrutural ou

simplesmente de garantir a amarração da estrutura, garantindo o trabalho conjunto com o restante da alvenaria e ajudando na redistribuição dos esforços. A bitola mais utilizada é a de 10 mm em edifícios onde não ocorrem tensões de tração devido ao vento (ABCP, 2005).

e) Paredes:

União de blocos, argamassa, graute e armadura, formando um elemento. Podem ser consideradas estruturais ou não estruturais. As paredes estruturais são aquelas admitidas como participantes da estrutura, sendo responsáveis por resistirem a cargas além das do seu peso próprio (figura 7). As não estruturais são paredes de vedação, geralmente pouco presentes em alvenaria estrutural.

Figura 7 – Paredes estruturais de bloco de concreto



Fonte: MIBC (2015)

No sistema construtivo em alvenaria estrutural, os cuidados com a execução das paredes são muito mais importantes do que na alvenaria comum. Se você chegar no 4 pavimento de uma construção em alvenaria convencional e descobrir que sua parede do segundo pavimento ficou fora de prumo, você apenas precisa reconstruir essa parede, sem grandes perdas. Na alvenaria estrutural, isso não é tão simples, pois você está lidando com um elemento estrutural, e não simplesmente um elemento de vedação. Muitas vezes faz-se necessário a consulta ao projetista e, em alguns casos, a construção de algum tipo de reforço estrutural.

2.1.4. Execução e recomendações técnicas

Permite-se o uso de diversos tipos de fundações no sistema construtivo em alvenaria estrutural, assim como se da com o sistema convencional. Porém, como estruturas de alvenaria são mais rígidas, recalques diferenciais acabam sendo mais danosos à estrutura do que já seriam em outros tipos de sistemas construtivos. Sendo assim, o sistema recomendado é a fundação tipo radier, que reduz o recalque diferencial por fazer com que o recalque da estrutura se de com valores próximos em todos os pontos da construção (GUIMARÃES, 2014). Sapatas corridas também são aconselháveis visto que, diferente da alvenaria convencional, a alvenaria estrutural faz com que as cargas se distribuam em superfícies maiores, visto não concentrar os esforços em pontos específicos como os pilares da alvenaria convencional, resultando em baixa tensão no solo (CAVALHEIRO, 2015).

Com a fundação pronta, seja ela de qualquer tipo escolhido, parte-se para a superestrutura, que é a alvenaria estrutural em si. A superestrutura é executada num sistema conhecido como ‘coordenação modular’. Coordenação modular é “um sistema de referência que, a partir de medidas com base num módulo de referência predeterminado, compatibiliza e organiza tanto a aplicação racional de técnicas construtivas, como o uso de elementos em projetos e obra, sem sofrer modificações”. (LUCINI, 2001). Ao projetar, o arquiteto deve escolher o módulo básico de 15 ou 20 cm, e trabalhar com múltiplos da dimensão escolhida +1cm, sendo esse 1cm devido as juntas verticais de argamassa que ficarão entre os blocos (SELECTA, 2015). Esse sistema é responsável por algumas características já comentadas a respeito da alvenaria estrutural, como por exemplo a organização, limpeza, a não margem para improvisos, assim como também o requisito de uma mão-de-obra mais qualificada do que a do sistema de alvenaria convencional.

A elevação da alvenaria estrutural passa pelas seguintes etapas, que serão explicadas uma a uma: Marcação da primeira fiada, primeira elevação, grauteamento da primeira elevação, segunda elevação, instalações, grauteamento da segunda elevação e cobertura. Com a laje concretada, pode-se iniciar novamente o ciclo no pavimento superior (FREIRE, 2007).

Algumas ferramentas são essenciais para a elevação da alvenaria:

- Colher de pedreiro: Utilizada para distribuir a argamassa para o assentamento dos blocos da primeira fiada, aplicar as argamassas nas juntas transversais e retirar o excesso das mesmas. Deve-se evitar o uso dessa ferramenta para o assentamento das demais fiadas, sendo recomendado nesse caso o uso da canaleta ou palheta.

- Canaleta ou palheta: Utilizadas para distribuir os cordões de argamassa nas juntas de assentamento dos blocos das demais fiadas. A escolha entre canaleta ou palheta geralmente fica a cargo do pedreiro que está executando, que acaba escolhendo a ferramenta com a qual ele está mais acostumado a lidar.

- Régua de Nível: Utilizada para determinar o nível e o prumo das paredes, características especialmente importantes em alvenaria estrutural, visto que desaprumo de paredes significa desaprumo de estruturas.

- Esquadro Metálico: Utilizado para aferir os esquadros das paredes. Atenção especial deve ser dada à primeira fiada, visto que ela basicamente é quem definirá o esquadro da parede. É recomendado que o esquadro tenha dimensão de faces de no mínimo 80cm.

- Escantilhão: Régua de marcação vertical, com graduação de 20 a 20cm, a partir da parte superior da primeira fiada. Utilizado para garantir o nível das fiadas e auxiliar no acompanhamento da espessura da argamassa de assentamento.

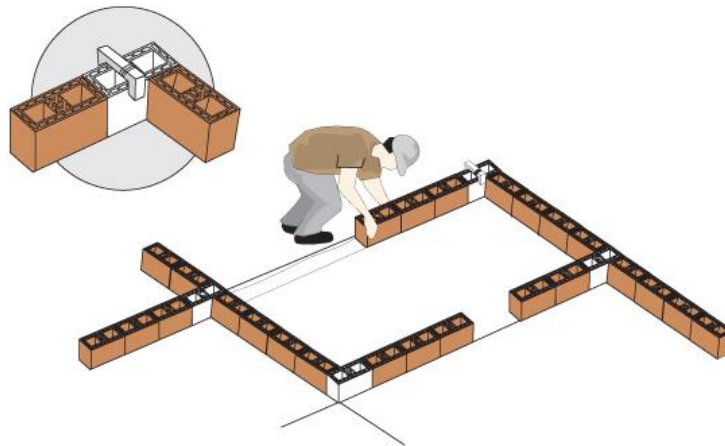
Alguns procedimentos devem ser realizados antes da marcação da primeira fiada, que é o primeiro passo para a elevação da alvenaria estrutural. O andar deve ser limpo, removendo-se a poeira e materiais soltos na laje, garantindo melhor fixação da argamassa de assentamento e resistência da base (FREIRE, 2007). O valor mínimo da espessura da junta horizontal da argamassa de assentamento da primeira fiada deve ficar entre 5mm e 20mm. Caso passe disso, deve ser feito um nivelamento com concreto com a mesma resistência da laje (PAULUZZI, 2015).

Para garantir que essa espessura seja minimizada, o primeiro passo é encontrar o ponto mais alto da laje sobre a qual se deseja levantar a alvenaria. Encontrado esse ponto, é assentado um bloco que vai ser o nível de referência para o assentamento de todos os outros

blocos da marcação (SELECTA, 2015). A alvenaria deve partir nivelada da primeira fiada para evitar a correção dos desníveis durante a execução do restante da alvenaria (PAULUZZI, 2015).

Após o assentamento do bloco referência, é feita a marcação dos eixos ortogonais, que consiste em alinhar a alvenaria com um referencial dado pela topografia no primeiro pavimento e, a partir disso, alinhar com a alvenaria dos pavimentos inferiores (FREIRE, 2007). A partir desse eixo, blocos estratégicos são assentados: blocos de canto, blocos que demarcam início e fim de paredes, blocos de encontro e blocos determinantes de portas (SELECTA, 2015). O bom posicionamento desses blocos é fundamental para o bom posicionamento das paredes. Em sequência, esticasse linhas de nylon entre os blocos extremos de cada vão, garantindo o alinhamento das paredes (FREIRE, 2007).

Figura 8 - Alinhamento da marcação



Fonte: Selecta Blocos (2015)

Na figura 8 é possível observar os blocos estratégicos, que estão em branco. Em destaque, nota-se o suporte utilizado para posicionar as linhas de nylon que auxiliam no alinhamento das paredes. Após esticadas as linhas de nylon, é concluído o assentamento do restante dos blocos da primeira fiada e das marcações dos shafts e outros elementos de projeto, conferindo-se o prumo, esquadro e posicionamento dos blocos.

Com a primeira fiada assentada, pode-se partir para a primeira elevação. Essa elevação é feita até a altura da abertura das janelas (FREIRE, 2007). É importante que não se assente mais do que 5 fiadas no mesmo dia, pois como a argamassa ainda não possui resistência, o sobrepeso

poderia danificar a estrutura (SANTOS, 2015). O primeiro passo é o posicionamento dos escantilhões em pontos estratégicos, que devem ser aprumados e alinhados, pois é posicionamento deles que vai definir o posicionamento final da parede. Após o posicionamento dos escantilhões, novamente são esticadas linhas de nylon para definir o alinhamento fiada a fiada (figura 9), porém dessa vez as linhas são presas nos escantilhões.

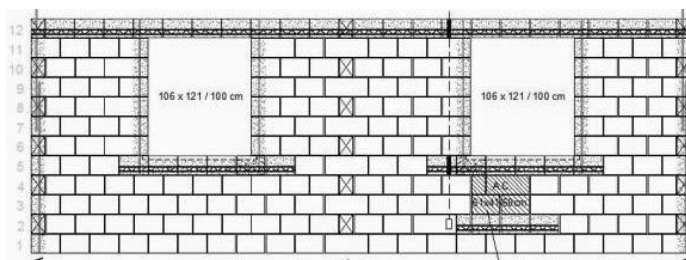
Figura 9 - Alinhamento de fiada



Fonte: Caetano (2014)

Deve-se seguir o projeto de primeira fiada e segunda fiada, alternadamente. Além disso, deve-se seguir a paginação das paredes que também possui um projeto específico, conforme figura 10, determinando o esquema da modulação em pontos como portas, janelas, vergas e fechamento da alvenaria, além de posicionamento dos elementos da parede como vergas e armaduras. Nos vãos, devem ser utilizados gabaritos metálicos para garantir que as medidas respeitem os projetos e sejam iguais entre si.

Figura 10 - Paginação de parede



Fonte: Pauluzzi (2015)

Elementos como vergas, contra vergas e contra marcos se utilizados geram economia de tempo e de recursos na obra, pois garantem fácil instalação das esquadrias sem a necessidade de quebra dos blocos para encaixe (GUIMARÃES, 2014).

Apesar da maior demanda de tempo em relação ao pré-moldado, blocos canaletas armados e preenchidos com graute (figura 11) também podem ser utilizados, sendo uma alternativa mais econômica (GUIMARÃES, 2014).

Figura 11 - Bloco canaleta locado



Fonte: Busian (2013).

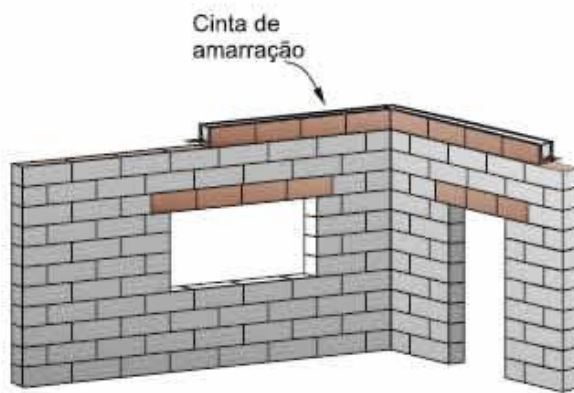
Após o assentamento das fiadas até o nível das janelas, é feito a colocação das contra vergas pré moldadas ou dos blocos canaletas e sua armadura. São feitos então buracos nos blocos das primeiras fiadas onde será feito o grauteamento. Esses buracos são chamados de 'Inspeção', e servem para a limpeza e retirada de restos de argamassa de assentamento assim como para conferência final do grauteamento. Após a abertura das inspeções, é feito a limpeza dos pontos de graute pela introdução de uma barra de aço, sendo os restos de argamassa de assentamento retirados pela inspeção.

As armaduras são posicionadas nos pontos de graute (caso haja pontos armados) e nas canaletas (caso opte-se por não usar contra vergas pré moldadas), e então são grauteados os pontos de graute e as canaletas. Assim que o graute obter certa resistência, pode-se passar para a segunda elevação. É importante o grauteamento dos pontos de graute em duas etapas, sendo a primeira executada logo após a primeira parte da elevação, pois se for deixado para grautear

o ponto de graute inteiro de uma só vez no fim da elevação o graute pode segregar devido ao forte impacto e ao tempo de queda até atingir o piso (FREIRE, 2007).

A segunda elevação segue as mesmas instruções da primeira. Um cuidado extra que se deve ter é com a locação das janelas e o tamanho dos vãos, sendo utilizados gabaritos metálicos como auxílio. É importante também não esquecer de utilizar os blocos canaletas nos pontos certos quando não se optar por pré-moldados. Em caso de vergas feitas com canaletas grauteadas armadas, é importante que se preencha a verga antes da execução da próxima fiada, não deixando buracos a serem preenchidos posteriormente, pois isso prejudicaria o desempenho estrutural da verga. A última fiada é executada exclusivamente com blocos canaletas que também serão posteriormente grauteados formando a cinta que dá suporte a laje, evitando fragilidades e quebra de blocos. Essa cinta é o equivalente às vigas da alvenaria convencional, conforme figura 12.

Figura 12 - Cinta de Amarração



Fonte: Fazfacil (2015)

Porém, antes do grauteamento final é necessário o acompanhamento dos profissionais responsáveis pelas instalações, para que eles possam posicionar os eletrodutos e tubulações. Existem blocos hidráulicos especialmente fabricados para a passagem de tubulações, porém recomenda-se o uso de shafts, pois estes garantem que não haja alteração da estrutura além de garantir uma fácil manutenção (GUIMARÃES, 2014).

Após a execução das instalações que passam pela parede parte-se para o segundo grauteamento, que é o grauteamento da parte superior dos pontos de graute e da cinta de amarração.

Com a cinta de amarração grauteada está concluída a elevação da alvenaria. A alvenaria estrutural permite que o teto de cada pavimento (ou o piso do pavimento seguinte) seja executado com diversos sistemas, não colocando restrições nesse quesito (GUIMARÃES, 2014). Os responsáveis pelas instalações devem acompanhar cada etapa, inclusive a da cobertura, garantindo que cada componente seja locado na hora certa e conforme é solicitado em projeto. Após a execução da laje de cobertura, o ciclo pode se iniciar novamente caso houver mais pavimentos a serem executados.

2.2. OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS RACIONALIZADOS

2.2.1. Light steel frame

Esse sistema construtivo é constituído de paredes estruturais, formadas por quadros de perfis leves de aço zincado (figura 13a). O fechamento é realizado por placas cimentícias na face externa (figura 13b) e chapa de gesso na parte interna, sendo o espaço entre as duas chapas preenchido com manta de lã de vidro.

Figura 13 - Montagem dos quadros estruturais e fechamento das faces externas



Fonte: SINATI (2015)

Nesse sistema, as tubulações são fixadas aos perfis de aço da parede, com tiras plásticas ou espuma de poliuretano que evitam a movimentação das mesmas (figura 14). Não é permitido a passagem de tubulações de gases por esse sistema construtivo, visto que as paredes formam uma câmara interna na qual os gases poderiam se acumular, trazendo riscos de explosão (SINATI, 2015).

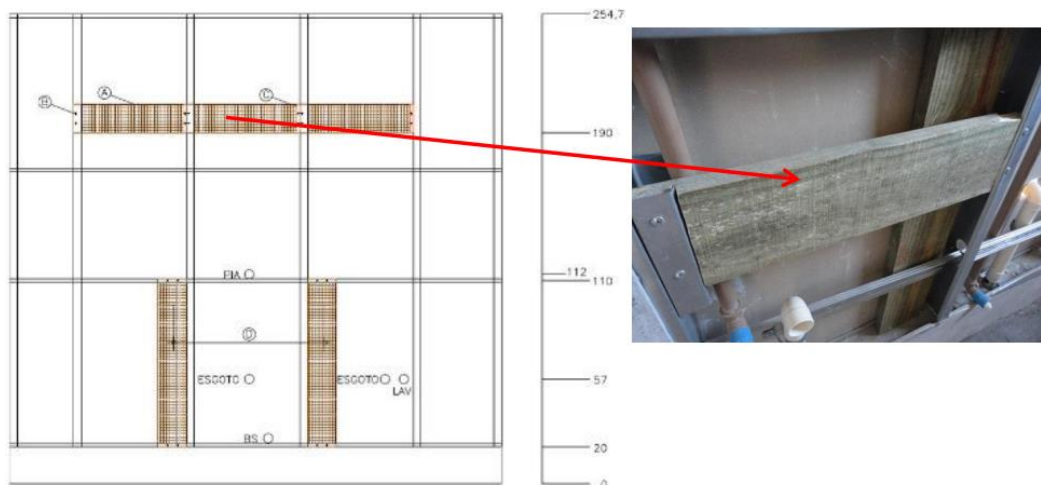
Figura 14 - Interface do steel frame com tubulações



Fonte: SINAT (2015)

Para paredes onde serão fixados elementos com carga maior do que 11,5kgf, são previstos reforços realizados com madeira de pinus, fixados aos montantes dos quadros estruturais conforme projeto específico, conforme figura 15.

Figura 15 - Reforço para fixação de peças suspensas



Fonte: SINAT (2015)

Para a execução de aberturas, são previstos perfis montantes de reforços, paralelos aos perfis dos quadros estruturais. Sobre esses, apoiam-se outros dois seguimentos de perfis montantes que funcionam como vergas. São previstas em também placas cimentícias em formato especial, em “C” ou em “L”, conforme figura 16.

Figura 16 - Paginação das placas cimentícias em aberturas



Fonte: SINATI (2015)

Como revestimento, aplicam-se nas paredes de áreas secas e fachadas argamassa polimérica na base das paredes até a altura de no mínimo 600 mm, além de pintura. Nas áreas molhadas, aplica-se revestimento cerâmico até a altura de no mínimo 1,5 m.

2.2.2. Painéis maciços pré-moldados de concreto armado

Os painéis que serão considerados nesse estudo são produzidos pela construtora VIVER. Esses painéis destinam-se a construção de edifícios habitacionais de até 4 pavimentos.

As paredes são constituídas de painéis pré-moldados de concreto, sendo de 100 mm para paredes externas e internas com função estrutural e de 80 mm para paredes internas sem função estrutural. A figura 17 mostra o conjunto habitacional viver canoas, construído nesse sistema.

Figura 17 - Conjunto habitacional Viver Canoas, Canoas - RS



Fonte: SINAT (2015)

A montagem dos painéis pode ser feita tanto em canteiro de obras quanto em uma unidade fabril. A moldagem dos mesmos é feita na posição vertical, em formas de aço (SINATI, 2015). Primeiro faz-se a montagem da armadura e o posicionamento da forma fazendo uso de espaçadores para em seguida preenche-las com concreto auto-adensável. A figura 18 mostra o que se chama de bateria de formas de aço, as quais são travadas posteriormente na parte superior por ganchos, ficando prontas para receberem o aço e o concreto.

Figura 18 - Bateria de formas metálicas para montagem dos painéis



Fonte: SINAT (2015)

Os painéis possuem a altura do pé-direito e comprimento máximo de 4 metros. O concreto utilizado é auto-adensável com resistência característica de 25MPa. A armadura é constituída de uma malha dupla de 30 x 15 cm e fios de 4,2 mm de diâmetro. As lajes (figura 19) possuem 100mm de espessura, sendo constituídas de pré-lajes de 40 mm de espessura as quais recebem uma camada complementar de concreto de 60 mm de espessura (SINAT, 2015).

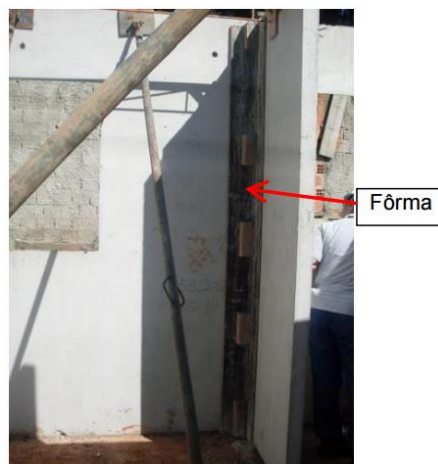
Figura 19 - Golas das lajes na fachada



Fonte: SINAT (2015)

Os painéis possuem rebaixos e armaduras de ligação nas laterais, constituídas por 5 barras de 10 mm, as quais são ligadas às armaduras de ligação do painel adjacente. Posteriormente, é feito o grauteamento na quina onde é feita a ligação entre as armaduras, conforme pode ser visto na figura 20.

Figura 20 - Fôrma para grauteamento da ligação dos painéis



Fonte: SINAT (2015)

As fixações das esquadrias aos painéis são feitas com o uso de parafusos. Os eletrodutos são posicionados dentro da forma antes da concretagem, juntamente com a armadura, enquanto que as tubulações de água fria e esgoto são prumadas em shafts ou complementos de paredes, sempre externos aos painéis (SINAT, 2015), como pode ser observado na figura 21.

Figura 21 - Montagem das armaduras dos painéis, dos espaçadores e eletrodutos



Fonte: SINAT (2015)

2.2.3. Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural

Os painéis considerados nesse trabalho são produzidos pela PRECON em seu parque fabril para emprego como paredes sem função estrutural de até 8 pavimentos. Os painéis são produzidos em formas metálicas, assim como o sistema em painéis maciços, porém nesse caso a produção se dá com os painéis na horizontal. A estrutura da edificação é a convencional, composta por vigas, pilares e lajes pré-fabricados de concreto armado protendido. A fundação também é convencional, sendo o sistema variado conforme as necessidades de cada local (SINAT, 2014).

Os painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos possui a vedação cerâmica do sistema construtivo convencional. Para execução dos painéis, faz-se a preparação das formas com desmoldante, em seguida sendo posicionadas as armaduras e os blocos cerâmicos (figura 22).

Figura 22 - Montagem dos painéis mistos



Fonte: SINAT (2014)

Os eletrodutos são instalados dentro dos furos dos blocos cerâmicos, como seria no caso da vedação tradicional, e são conectados a caixas elétricas previamente instaladas nas formas, conforme projeto elétrico (SINAT, 2014).

Como pode ser observado na figura 23, o concreto é lançado sobre as formas, com os blocos umedecidos, preenchendo as nervuras do painel e as juntas entre os blocos. Uma camada de 15 mm de espessura é adicionada sobre os blocos e armaduras. O adensamento é realizado com o auxílio de vibradores de imersão. O acabamento é realizado por meio de régua e desempenadeira (SINAT, 2014).

Figura 23 - Sequência de concretagem dos painéis mistos



Fonte: SINAT (2014)

O primeiro passo para a execução da edificação nesse sistema, após a fundação, é a montagem dos pilares da estrutura. Após a locação por topografia, os pilares são vinculados ao bloco de fundação com o auxílio de grua (figura 24).

Figura 24 - Montagem dos pilares na fundação



Fonte: SINAT (2014)

Na sequência é realizada a montagem dos painéis já prontos. Na interface entre os painéis e os pilares é feita a aplicação de chapisco colante industrializado e soldagem de *inserts* metálicos existentes nas peças. Os painéis são montados sobre argamassa industrializada com espessura de 10mm, posicionados também com o auxílio de grua.

As vigas são pré-fabricadas em concreto protendido. No local, posicionam-se as vigas sobre placas de poliestireno (EPS) posicionadas na parte superior dos painéis mistos e são encaixadas em aberturas nos pilares, que podem ser vistas na figura 30. A vinculação das vigas e pilares é feita por concretagem no local. A placa de eps é removida após a montagem de dois pavimentos superiores e substituído por uma fixação com argamassa expansiva. As escadas também são pré-fabricadas, e sua montagem ocorre a partir de 24 horas após a montagem das vigas (SINATI, 2014).

A montagem das lajes é feita em duas etapas: pré-laje e complemento de espessura. A pré-laje é uma estrutura pré fabricada em concreto protendido que se apóia sobre as vigas e escoras metálicas, servindo de suporte pra concretagem do complemento de espessura. Na interface entre a pré-laje e as vigas é feita a aplicação de 10mm de argamassa industrializada.

Sobre a pré-laje, são adicionadas as armaduras negativas e os eletrodutos (figura 25), que são cobertos por um complemento de espessura em uma concretagem local (SINAT, 2014).

Figura 25 - Distribuição da armadura negativa e eletrodutos



Fonte: SINAT (2014)

Após a concretagem do complemento de espessura pode ser executado o pavimento superior. As juntas das fachadas resultantes das interfaces entre vigas, painéis, lajes e pilares são tratadas com tela poliéster e aplicação de impermeabilizantes.

Como acabamento, geralmente a parte interna dos painéis recebe uma camada de gesso liso e pintura acrílica, enquanto que a parte externa recebe pintura acrílica texturizada. Porém, pode-se optar por outros revestimentos, como aplicação de revestimento cerâmico na parte externa (SINAT, 2014).

Os eletrodutos e caixas nesse sistema passam por dentro dos painéis mistos. O sistema hidráulico é instalado em shafts e por baixo das lajes, sendo coberto posteriormente por forro de gesso.

2.3. NORMA ABNT NBR 15575

A NBR 15575, em vigor desde 19 de julho de 2013, visa estabelecer requisitos com base no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscar o atendimento às exigências dos usuários de forma indireta e traduzir as exigências dos usuários em requisitos e critérios (ABNT, 2013). A ABNT deixa claro na introdução da norma que ela é complementar às normas

prescritivas e não substituta. “A utilização simultânea delas visa atender às exigências dos usuários com soluções tecnicamente adequadas” (ABNT, 2013).

A avaliação do desempenho dos sistemas construtivos mostra um avanço no setor e abre o caminho para a evolução de todos os que compõem a cadeia da construção civil (CBIC, 2013). A norma de desempenho permite essa avaliação de forma objetiva, pois estabelece parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos.

Para cada necessidade do usuário e condição de exposição, a norma estabelece requisitos de desempenho, critérios de desempenho e seus respectivos métodos de avaliação. Redigida segundo modelos internacionais de desempenho, o conjunto normativo da NBR 15575 compreende seis partes:

Parte 1: Requisitos gerais.

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Nesse capítulo iremos abordar as partes 1 (requisitos gerais), 2 (requisitos para os sistemas estruturais) e 4 (requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas), que tratam de características de desempenho e requisitos diretamente relacionados ao método estrutural e de vedação escolhido para execução. Visto que nesse trabalho não trataremos de sistemas de piso nem de sistemas hidrossanitários e, como já explicado no capítulo anterior, alvenaria estrutural permite o uso de diversos tipos de cobertura cada qual com seu desempenho em particular, deixaremos de lado nesse momento as partes 3 (requisitos para os sistemas de piso), 5 (requisitos para os sistemas de cobertura) e 6 (requisitos para os sistemas hidrossanitários).

2.3.1. Parte 1: Requisitos Gerais

A primeira parte da NBR 15575, conforme a ABNT (2013) explica no seu escopo, “estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflituante dos critérios de medições”, dando de exemplo o desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela fechada).

2.3.1.1. Exigências dos Usuários

A norma apresenta uma lista geral de exigências dos usuários, que envolvem segurança, habitabilidade e sustentabilidade, afirmando que “sendo atendidos os requisitos e critérios estabelecidos nessa Norma, considera-se para todos os efeitos que estejam satisfeitas as exigências dos usuários (ABNT, 2013).

São três os níveis de desempenho apresentados pela norma, sendo que o desempenho mínimo (M) deve ser considerado e atendido. Os outros dois níveis, Intermediário (I) e Superior (S) são opcionais, e seus valores relativos estão nos anexos da Norma.

2.3.1.2. Incumbências dos intervenientes

Esse capítulo da norma estabelece as incumbências das partes envolvidas (construtor e/ou incorporador, projetista, fornecedores e usuários).

Ao projetista cabem as responsabilidades de estabelecer a vida útil projetada (VUP), especificar materiais, produtos e processos que atendam o desempenho mínimo estabelecido nessa norma e apresentar nos projetos e nos memoriais de cálculo os valores de VUP quando esses forem maiores do que os mínimos estabelecidos pela norma.

O construtor e o incorporador cabem as incumbências de avaliar os riscos previsíveis na fase de projeto, elaborar o manual de operação uso e manutenção e garantir que esse manual atenda aos requisitos da ABNT NBR 14037 e ABNT NBR 5674

Ao usuário cabe a manutenção de acordo com a ABNT NBR 5674 e o manual de operação.

2.3.1.3. Avaliação do desempenho

Um relatório de avaliação de desempenho deve ser elaborado pelo responsável pela avaliação, sendo que o produto de avaliação deve cumprir as exigências da NBR 15575 e das normas que a suplementam. Recomenda-se que quem for fazer a avaliação de desempenho possua reconhecida capacidade técnica.

Quando os ensaios foram realizados em laboratório devem ser baseados nas normas explicitamente referenciadas, em cada caso, na NBR 15575. O ensaio de campo é aceito desde que se comprove que o sistema avaliado é igual ao que se deseja proceder e a construção ou instalação já tenha ocorrido há pelo menos dois anos.

Os resultados devem levar em conta o seu entorno, tomando-se o cuidado de não extrapolar resultados para condições diversas de clima, implantação, agressividade do ambiente e utilização.

2.3.1.4. Desempenho estrutural

As estruturas devem ser projetadas, construídas e montadas de forma a atender aos requisitos de estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS) estabelecidos na ABNT NBR 15575-2 e na ABNT NBR 15575-6.

Os ELU são caracterizados por perda de equilíbrio da estrutura, ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, transformação da estrutura em sistema hipostático e instabilidade.

Por sua ocorrência, repetição ou duração os ELS não devem causar efeitos estruturais que impeçam o uso normal da construção nem comprometer a durabilidade da estrutura.

2.3.1.5. Segurança contra incêndio

Na parte de segurança contra incêndio a norma lista as pautas que devem ser levadas em conta, os requisitos que devem ser cumpridos com relação as pautas e métodos de avaliação, referenciando algumas outras normas que devem ser também levadas em conta.

As pautas são: proteger a vida dos ocupantes das edificações em caso de incêndio, dificultar a sua propagação, propiciar meios de controle e extinção do incêndio, dar condições

de acesso ao corpo de bombeiros. Os objetivos principais são: Possibilitar a saída dos ocupantes em condições de segurança, garantir condições favoráveis ao emprego do socorro público e evitar (ou ao menos minimizar) os danos à própria edificação.

Proteções contra descargas atmosféricas, risco de ignição nas instalações elétricas e vazamentos nas instalações de gás dificultam o princípio de incêndio, minimizando o risco dele sequer ocorrer, enquanto a criação de rotas de fuga facilitam a fuga caso o incêndio ocorra.

A edificação deve contar com um sistema de extinção de incêndio, além de sinalização e iluminação de emergência para as rotas de fuga, seguindo o que é exigido em uma série de normas que tratam do assunto.

2.3.1.6. Segurança e uso na operação

Ainda durante a fase de projeto devem ser consideradas as medidas necessárias para garantir a segurança no uso e operação dos sistemas e componentes da edificação habitacional, principalmente contra agentes agressivos como, por exemplo, proteções contra queimaduras e bordas cortantes.

Os sistemas não devem apresentar ruptura, instabilizações, tombamentos, quedas e partes expostas cortantes que possam colocar em risco a integridade física dos ocupantes ou transeuntes nas imediações, ou deformações e defeitos acima do admitido nas ABNT NBR 15575-2 e ANBT NBR 15575-6.

A ABNT NBR 15575-1 ainda apresenta nesse capítulo premissas de projeto, indicando que devem ser previstas medidas nos projetos e na execução de forma a minimizar, durante a utilização da edificação, uma série de riscos listados, além de indicar métodos de avaliação de desempenho relacionado.

2.3.1.7. Estanqueidade

Deve ser assegurada a estanqueidade às fontes de umidade externas ao sistema (edificação). Para isso, devem ser consideradas em projeto a exposição à água da chuva, à umidade proveniente do solo e aquela proveniente do uso da edificação (pois a umidade acelera os mecanismos de deterioração do sistema e prejudica a higiene), devendo ser prevista

a prevenção de infiltração por meio de drenagem e impermeabilização eficientes, conforme critérios e métodos de avaliação indicados na norma.

2.3.1.8. Desempenho Térmico

A norma define algumas exigências do desempenho térmico as quais devem ser atendidas pela edificação habitacional, levando-se em conta a zona climática na qual ela será construída conforme a ABNT NBR 15220-3.

São permitidos dois procedimentos diferentes para a caracterização do atendimento a norma no quesito desempenho térmico.

O primeiro procedimento é o simplificado (normativo), que consiste em simples verificação de atendimento do sistema de vedação e cobertura aos requisitos e critérios normativos, conforme ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5. Para casos em que a avaliação de transmitância e capacidade térmica resulte em resultados insatisfatórios, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional.

O segundo procedimento é o de medição, onde o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1 são verificados através medições em edifícios ou protótipos construídos.

Para a realização da verificação de desempenho térmico por simulações computacionais, recomenda o uso do programa EnergyPlus, seguindo as instruções que a norma dá no item 11.2 Simulação computacional.

A norma estabelece critérios de avaliação diferentes para condições de inverno e de verão, conforme tabelas 2 e 3.

Tabela 2- Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p>$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 3- Critério de avaliação do desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3\text{ o C})$	Nestas zonas, este critério não deve ser verificado.
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;</p> <p>$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: ABNT (2013)

Para edificações em fase de projeto, devem ser feitas simulações de todos os recintos da unidade habitacional, seguindo o procedimento estabelecido nos itens 11.5.1 e 11.5.2 da ABNT NBR 15575-1, sendo a seleção da unidade feita conforme item 11.5.

2.3.1.9. Desempenho acústico

Com respeito ao desempenho acústico, a parte 1 da NBR 15575 apenas diz que a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas e entre áreas comuns e privativas internas. Em seguida, indica aonde encontrar dentro das outras partes da mesma norma critérios, requisitos e métodos de avaliação de desempenho acústico para vedações externas e internas.

2.3.1.10. Desempenho lumínico

Durante o dia, algumas dependências da edificação habitacional devem receber iluminação natural conveniente. São elas: sala de esta, copa/cozinha, dormitórios e área de serviço. A iluminação natural pode ser de incidência direta do exterior ou indiretamente através de recintos adjacentes. O nível de luminância definido pela norma como mínimo pela norma é de 60 lux para esses ambientes. A norma ainda estabelece como valor mínimo, para esses mesmos ambientes, fator de luz diurna mínimo de 0,50%, e diferentes níveis mínimos de iluminação artificial dependendo do ambiente.

São apresentados métodos de avaliação detalhados para desempenho lumínico. Porém como o desempenho lumínico depende principalmente da disposição dos ambientes e da posição e tamanho das aberturas, fugindo do objetivo desse trabalho.

2.3.1.11. Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas. Entende-se que o edifício habitacional deixou de cumprir as suas funções quando ele se torna funcionalmente obsoleto ou a sua degradação o leva a um estado insatisfatório de desempenho.

A vida útil de um edifício está diretamente associada ao custo global do bem, fazendo da durabilidade uma característica de interesse e exigência econômica do usuário.

A responsabilidade dos projetistas, construtores e incorporadores é sobre o valor teórico de VUP, que podem ser confirmados pelo atendimento as normas nacionais ou internacionais. Porém, não podem ser responsabilizados pela Vida Útil (VU) da edificação, visto que isso depende de diversos fatores fora de seu controle.

A tabela 4 apresenta os valores mínimos de VUP para os quais os sistemas devem ser projetados. A norma ainda traz os métodos de avaliação para se chegar aos valores teóricos de VUP, os quais devem atender aos valores mínimos da tabela.

Tabela 4- Vida Útil de Projeto*

Sistema	VUP mínima anos
Estrutura	≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

* Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 5674.

Fonte: ABNT NBR 15575-1

Devem estar detalhadas na documentação que acompanha o edifício ou subsidia a sua construção as especificações relativas à manutenção, uso e operação do edifício e de seus sistemas.

O projeto do edifício e de seus sistemas deve ser concebido de forma que favoreça as inspeções prediais e as condições de manutenção, garantindo a manutenibilidade da edificação. Para garantir a preservação das características bem como prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação de seus sistemas, elementos e componentes, deve-se atender a ABNT NBR 5674 na gestão de manutenção da edificação.

2.3.1.12. Saúde, higiene e qualidade do ar

A norma estabelece alguns requisitos que devem ser cumpridos em relação a saúde, higiene e limpeza e pede também que se cumpram os requisitos estabelecidos pela legislação vigente.

Deve-se propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura no interior da unidade habitacional. Além disso, os materiais, equipamentos e sistemas empregados na edificação não podem liberar produtos que poluam o ar em ambientes confinados, originando níveis de poluição maiores do que o do entorno.

2.3.1.13. Funcionalidade e acessibilidade

A edificação deve apresentar pés-direitos dos ambientes compatíveis com as necessidades humanas, sendo que a altura mínima não pode ser inferior a 2,5 m, com exceção a vestíbulos, halls, corredores, instalações sanitárias e despensas, onde o pé-direito mínimo admitido é de 2,3 m.

São apresentadas nessa primeira parte da norma, no Anexo X, sugestões de espaço mínimo nos cômodos para colocação e utilização dos imóveis.

A adaptação para as pessoas com deficiência física, além de ser legislativa, é requerimento dessa norma. Deve ser previsto um número mínimo de vagas de garagem adaptadas para pessoas com deficiência física, além de adaptações de áreas comuns e privativas conforme prevê a ABNT NBR 9050.

O projeto deve prever adaptações em acessos e instalações, escadas (substituição por rampas), declividades, larguras de corredores e portas e alturas de peças sanitárias, além de disponibilizar alças e barras de apoio.

A incorporadora ou construtora deverá fornecer ao usuário, juntamente com o manual de uso, operação e manutenção, projeto arquitetônico e complementar para ampliação da edificação para unidades habitacionais térreas de caráter evolutivo.

2.3.1.14. Conforto tátil e antropodinâmico

Adaptação ergonômica deve ser feita de modo a não prejudicar as atividades normais dos usuários dos edifícios habitacionais ao caminhar, apoiar, limpar, brincar e semelhantes. Além disso, a edificação não deve apresentar rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades nos elementos, componentes, equipamentos e quaisquer acessórios ou partes da edificação.

Os elementos da edificação, como por exemplo os trincos e puxadores, devem ser projetados e construídos de modo a não oferecerem riscos de ferimentos aos usuários. Esses dispositivos devem ainda ser projetados e construídos de modo que a força necessária para o acionamento não exceda 10N e o Torque não exceda 20Nm.

2.2.1.15. Adequação Ambiental

Atualmente, técnicas de avaliação de impactos ambientais ainda estão em estado de pesquisa. No entanto, os empreendimentos e sua infraestrutura devem, de forma geral, serem projetados e construídos de forma a minimizar as alterações no ambiente.

Quanto ao solo, ao se projetar e executar um empreendimento devem ser levados em conta os riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos, enchentes, erosões, assoreamento de vales, lançamento de esgotos a céu aberto e outros similares, obedecendo-se as exigências da ABNT NBR 8044 e da ABNT NBR 11682 bem como a legislação vigente.

A exploração e o consumo de recursos naturais devem ser racionalizados de modo a minimizar os impactos ambientais. Além disso, deve-se utilizar madeira de procedência legal e comprovada.

Durante a construção, deve-se implementar um sistema de gestão de resíduos no canteiro de obras, de forma a minimizar sua geração e possibilitar a segregação de maneira que facilite o reuso e a reciclagem.

O reúso da água para destinação não potável é extremamente recomendado, de modo a diminuir o consumo, desde que sejam seguidos os parâmetros da tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros de qualidade de água para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Valor
Coliformes totais	Ausência em 100 ml
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100 ml
Cloro residual livre ^I	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	< 2,0 uT ^{II} , para usos menos restritivos <5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	<15uH ^{III}
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
Nota: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.	
I – No caso de serem utilizados compostos de cloro para pesinfecção	
II – uT é a unidade de turbidez	
III – uH é a unidade Hazen	

Fonte: ABNT (2013)

2.3.2. Parte 2: Sistemas estruturais

A ABNT NBR 15575-2 trata do desempenho nos quesito segurança estrutural, duração e manutenibilidade da edificação. Essa norma explora alguns conceitos que muitas vezes são deixados de lado em normas prescritivas específicas como, por exemplo, a durabilidade dos sistemas.

O capítulo 7 da NBR 15575-2 lista uma série de requisitos que envolvem a segurança estrutural da estrutura, os quais estão listados e explicados abaixo:

a) 7.1 Requisitos Gerais:

Nessa primeira parte são listados requisitos gerais aos quais a edificação habitacional deve atender durante toda a sua vida útil de projeto. A norma entra em mais detalhes a respeito de cada requisito geral dentro do tema dos próximos requisitos.

b) 7.2 Requisito – Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural:

A edificação deve apresentar um nível específico de segurança contra a ruína considerando-se o estado limite último como critério. Os elementos de vedação devem ter a capacidade de transmitir a estrutura o seu peso e o que sobre eles venham a atuar.

São dois os métodos de avaliação para classificação do desempenho quanto a estabilidade e resistência do sistema estrutural: cálculo e ensaios.

Os cálculos devem ser feitos através de uma análise do projeto dos componentes estruturais com base nas normas aplicáveis a cada caso. As condições de desempenho devem ser comprovadas analiticamente ao passo que se demonstra atendimento ao estado-limite último. Ignora-se os requisitos de dimensões mínimas dos componentes presentes nas normas de projetos estruturais em casos de casas com menos de 6 m de altura.

Para edifícios de até 5 pavimentos, permite-se estabelecer uma resistência mínima de projeto através de ensaios destrutivos e do traçado do correspondente diagrama carga x deslocamento, desde que não haja modelagem matemática conhecida e consolidada por experimentação ou norma brasileira que regule.

c) 7.3 Requisito – Deformações ou estado de fissuração do sistema estrutural:

Visando minimizar a probabilidade de ocorrência de danos inaceitáveis, não deve-se ocasionar deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculadas ao sistema estrutural nem impedir o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação. O critério adotado é o dos estados-limites de serviço.

Os componentes estruturais não devem apresentar fissuras ou aberturas superiores a 0,6mm em qualquer situação, respeitando os valores de normas específicas para o sistema construtivo nos casos em que houver uma.

As normas de projeto estrutural estabelecem deslocamentos máximos que os componentes estruturais de alguns sistemas podem apresentar. Nos casos em que não houver norma específica, devem ser seguidos os valores das tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Deslocamentos-limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento-limite	Tipo de deslocamento
Visual/insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	$L/250$ ou $H/300^{(1)}$	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros etc.)	$L/800$	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	$L/600$	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	$L/500$ ou $H/500^{(1)}$	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	$L/400$ ou $H/400^{(1)}$	
H é a altura do elemento estrutural L é o vão teórico do elemento estrutural ⁽¹⁾ Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a $H_{total} / 500$ ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites. NOTA Não podem ser aceitas falhas, a menos daquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.			

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 7 - Flechas máximas para vigas e lajes

Parcela de carga permanente sobre vigas e lajes		Flecha imediata ¹⁾			Flecha final (total) ³⁾
		S_{gk}	S_{qk}	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$
Paredes monolíticas, em alvenaria ou painéis unidos ou rejuntados com material rígido	Com aberturas ²⁾	$L/1\ 000$	$L/2\ 800$	$L/800$	$L/400$
	Sem aberturas	$L/750$	$L/2\ 100$	$L/600$	$L/340$
Paredes em painéis com juntas flexíveis, divisórias leves, gesso acartonado	Com aberturas ²⁾	$L/1\ 050$	$L/1\ 700$	$L/730$	$L/330$
	Sem aberturas	$L/850$	$L/1\ 400$	$L/600$	$L/300$
Pisos	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	$L/700$	$L/1\ 500$	$L/530$	$L/320$
	Constituídos e/ou revestidos com material flexível	$L/750$	$L/1\ 200$	$L/520$	$L/280$
Forros	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	$L/600$	$L/1\ 700$	$L/480$	$L/300$
	Forros falsos e/ou revestidos com material flexível	$L/560$	$L/1\ 600$	$L/450$	$L/260$
Laje de cobertura impermeabilizada, com inclinação $i \geq 2\%$		$L/850$	$L/1\ 400$	$L/600$	$L/320$
Vigas calha com inclinação $i \geq 2\%$		$L/750$	-	-	$L/300$
L é o vão teórico ¹⁾ Para vigas e lajes em balanço, admitem-se deslocamentos correspondentes a 1,5 vez os respectivos valores indicados. ²⁾ No caso do emprego de dispositivos e detalhes construtivos que absorvam as tensões concentradas no contorno das aberturas das portas e janelas, as paredes podem ser consideradas "sem aberturas". ³⁾ Para a verificação dos deslocamentos na flecha final, reduzir a rigidez dos elementos analisados pela metade.					

Fonte: ABNT (2013)

A análise do projeto dos componentes estruturais da edificação habitacional deve ser feita com base em normas específicas em função do tipo de estrutura. Nos casos mais gerais, na análise das deformações podem ser consideradas apenas as ações permanentes e acidentais características, com um fator de redução para cargas acidentais de 0,7.

$$S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk}$$

Cargas de vento também devem ser consideradas conforme a norma ABNT NBR 8681.

Para edifícios de até 5 pavimentos, quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais e componentes que constituem o sistema não for conhecida e consolidada por experimentação, permite-se para fins da NBR 15575-2 estabelecer uma modelagem matemática através de ensaios destrutivos.

d) 7.4 Requisito – Impactos de corpo mole e corpo duro

Os testes de impactos a corpo mole e corpo duro têm por objetivo a medição da resistência à ruptura e instabilidade.

Nos testes de impacto realizados com corpo mole, devem ser satisfeitos os critérios de desempenho das tabelas 8 e 9 (próximas duas tabelas editar aqui). Os componentes da estrutura não devem sofrer ruptura ou instabilidade sob as energias de impacto estabelecido nas tabelas, sendo toleradas as ocorrências de fissuras, escamações, delaminações e outros danos em impactos de segurança, respeitando os limites do componente. Além disso, sob a ação de impactos de corpo mole, os componentes da estrutura não podem causar danos a outros componentes acoplados aos componentes sob ensaio. Nas tabelas, d_h e d_v se referem aos deslocamentos instantâneos, enquanto ' d_{hr} ' e ' d_{vr} ' aos residuais, sendo ' v ' para vertical e ' h ' para horizontal.

Tabela 8 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público – Impacto de corpo mole na face externa, ou seja, de fora para dentro

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
360	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
240	Não ocorrência de falhas Limitação do deslocamento horizontal: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 250$ para pilares, sendo h a altura do pilar $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga
180	Não ocorrência de falhas
120	Não ocorrência de falhas

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 9 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior e na fachada da edificação – Impacto de corpo mole aplicado na face interna, ou seja, de dentro pra fora

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
720	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
480	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
360	Não ocorrência de ruína; são admitidas falhas localizadas (fissuras, destacamentos e outras)
240	Não ocorrência de falhas Limitação do deslocamento horizontal: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 250$ para pilares, sendo h a altura do pilar $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga
180	Não ocorrência de falhas
120	Não ocorrência de falhas

Fonte: ABNT (2013)

O cumprimento dos critérios apresentados representam o nível de desempenho mínimo. O Anexo E da NBR 15575-2 traz os requisitos dos níveis Intermediário e Superior, que apesar de não obrigatórios, são os recomendados em caso de possibilidade da melhoria da qualidade da edificação. A tabela 5 do item 7.4.1 ainda traz os critérios e níveis de desempenho para impacto de corpo mole em pisos. Por não ser considerada relevante para o nosso estudo, não apresentaremos a tabela nesse trabalho.

Os ensaios devem ser feitos em laboratórios ou em protótipo ou obra, em corpo de prova que represente fielmente as condições executivas da obra. Os elementos estruturais devem ser submetidos a um impacto para cada uma das energias especificadas nas tabelas e atender aos critérios mínimos de desempenho, que são os que estão presentes nas mesmas tabelas. A exceção se dá para os elementos estruturais leves, ou seja, aqueles com massa específica menor ou igual a 1200 kg/m³ ou peso próprio menor ou igual a 60 kg/m². Para esses admitem-se deslocamentos instantâneos equivalentes ao dobro dos indicados nas tabelas. Os métodos de ensaio estão indicados no Anexo C da ABNT NBR 15575-2.

O que falamos até agora dentro desse requisito se referia a impactos de corpo mole. No caso de impactos de ações de impacto de corpo duro, os componentes da edificação não devem sofrer ruptura ou traspassamento sob qualquer energia de impacto, sendo toleradas as

ocorrências de fissuras, lascamentos e outros danos em impactos de segurança. Os critérios de desempenho requeridos são apresentados nas tabelas 10 e 11, correspondentes ao desempenho mínimo aceito. Apesar de não obrigatórios, os níveis indicados (quando for viável a melhoria da qualidade da edificação) são apresentados no anexo E da ABNT NBR 15575-2.

Tabela 10 - Critérios e níveis de desempenho para impactos de corpo duro na face externa de elementos estruturais localizados na fachada da edificação e nas faces externas acessíveis ao público

Energia de impacto ^{a)} de corpo duro J	Critério de desempenho
3,75	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade
20	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações
^{a)} Sentido do impacto de fora para dentro.	

Fonte: ABNR (2013)

Tabela 11 - Critérios e níveis de desempenho para elementos estruturais localizados no interior da edificação e na fachada

Energia de impacto ^{a)} de corpo duro J	Critério de desempenho
2,5	Não ocorrência de falhas Mossas com qualquer profundidade
10	Não ocorrência de ruína e traspassamento Admitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações
^{a)} Sentido do impacto de dentro para fora, aplicado na face interna.	

Fonte: ABNT (2013)

Assim como no caso das verificações para corpo mole, as verificações da resistência e deslocamento dos elementos estruturais nos ensaios de energia de impacto de corpo duro devem ser realizados em laboratório, executados em protótipo ou obra, devendo o corpo-de-prova representar fielmente as condições executivas da obra. Os métodos de ensaio estão indicados no Anexo D da ABNT NBR 15575-2. Os requisitos apresentados correspondem ao desempenho mínimo.

e) Requisito 14.1 – Durabilidade do sistema estrutural

Esse requisito diz respeito a conservação da segurança, estabilidade e aptidão em serviço da edificação habitacional durante o período correspondente à sua vida útil.

A estrutura principal e os elementos que fazem parte do sistema estrutural devem ser projetados e construídos de forma que mantenham a sua capacidade funcional durante toda a vida útil de projeto, considerando condições ambientais previstas na época do projeto e utilização conforme preconizado em projeto e submetidos a intervenções periódicas de manutenção e conservação, segundo instruções contidas no manual de operação, uso e manutenção. Para se assegurar atendimento a esse critério, deve ser feita análise do projeto ou por ensaios ou por aplicação de modelos.

Caso se opte por análise de projeto, deve-se considerar a adequação dos materiais e detalhes construtivos adotados visando o atendimento às disposições previstas nas normas específicas utilizadas no projeto.

Quando se optar por ensaios, devem ser feitos ensaios físico-químicos, além ensaios de envelhecimento acelerado que são os que se seguem: porosidade, absorção de água, permeabilidade, dilatação térmica, choque térmico, expansão higroscópica, câmara de condensação, câmara de névoa salina, câmara CUV, câmara de SO₂, Wheater-O-Meter e outros.

Para que se possa fazer uma avaliação condizente com o contexto do projeto, esse deve mencionar as normas aplicáveis, as condições ambientais vigentes na época de projeto e a utilização prevista da edificação.

O simples cumprimento a esses requisitos corresponde ao desempenho mínimo.

f) Requisito 14.2 – Manutenção do sistema predial

Devem ser realizadas manutenções preventivas e sistemáticas a fim de que seja alcançada a vida útil de projeto para a estrutura e seus elementos e, sempre que necessário, manutenção de caráter corretivo. As de caráter corretivo devem ser realizadas assim que o problema se manifestar com o objetivo de impedir que pequenas falhas progridam para, as vezes, extensas

patologias. Essas manutenções devem obedecer às instruções do manual de operação, uso e manutenção fornecido pelo construtor, bem como às boas práticas indicadas na ABNT NBR 564.

O manual de operação, uso e manutenção deve prever recomendações gerais para prevenção de falhas e acidentes decorrentes de utilização inadequada bem como periodicidade, forma de realização e forma de registro das inspeções e manutenções prediais. Devem estar presentes também, no manual, técnicas, processos, equipamentos, especificações e previsão quantitativa de todos os materiais necessários para as diferentes modalidades de manutenção.

Além de se seguir o manual de operação, uso e manutenção, deve-se atender às diretrizes das seguintes normas da ABNT: NBR 5674, NBR 15575-1 e NBR 14037.

O simples cumprimento aos requisitos apresentados nesse requisito correspondem ao nível de desempenho mínimo, e é obrigatório para edificações habitacionais.

2.3.3. Parte 4: Sistemas de vedação vertical interna e externa

A ABNT NBR 15575-4 estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de seus sistemas de vedações verticais internas e externas, doravante denominados SVVIE, de edificações habitacionais ou de seus elementos. Encontramos nela critérios relativos ao desempenho estrutural, térmico, acústico, lumínico, estanqueidade, durabilidade, manutenibilidade e segurança contra incêndio.

Considerarmos a seguir os critérios e requisitos abordados na norma. Devemos ter em mente que, além dos critérios da NBR 15575-4 que apresentaremos a seguir, os SVVIE devem atender aos critérios de normas específicas, bem como às outras partes da NBR 15575 quando aplicável. Mais a frente falaremos um pouco mais sobre os requisitos que iremos avaliar dentro desse trabalho nos atentando a, por enquanto, falar de maneira geral sobre todos os requisitos presentes na norma.

2.3.3.1. Desempenho Estrutural

- a) Requisito 7.1 – Estabilidade e resistência estrutural dos sistemas de vedação internos e externos

Durante toda a sua vida útil, a edificação deve apresentar nível de segurança considerando-se as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante esse prazo. O critério adotado é o do estado-limite último. As vedações verticais internas e externas devem atender as disposições de projeto, construção e montagem de 7.2 da NBR 15575-2 bem como das normas brasileiras aplicáveis.

Como método de avaliação, segue-se o expresso na NBR15575-2, já citado nesse trabalho. Para edificações habitacionais de até 5 pavimentos, pode-se usar o ensaio previsto de compressão excêntrica.

Quando o SVVIE utilizado tiver função estrutural, deve ser mencionado em projeto as normas atendidas, conforme o caso.

A resistência de paredes estruturais deve ser verificada a partir de 3 ensaios, para a solicitação $S_d = \gamma_g S_{gk} + \gamma_q S_{qk} + \gamma_w S_{wk}$. Se as cargas de vento produzirem esforços de compressão nas paredes, essas devem ser consideradas. Considerando pequenos erros de execução, no ensaio de carga vertical considera-se uma pequena excentricidade accidental, além de eventual excentricidade de projeto. Importante: Esse método aplica-se apenas a edificações habitacionais de até 5 pavimentos.

Especificamente para SVVE (sistema de vedação vertical externa), estruturais ou não, deve-se sempre considerar as ações horizontais devidas ao vento através de ensaios de cargas laterais uniformemente distribuídas. O corpo de prova para ensaio deve ser constituído por um trecho representativo do SVVE, incluindo vinculações e fixações.

Conforme previsto em 7.2 da ABNT NBR 15575-2, quando a modelagem matemática do comportamento conjunto dos materiais que constituem a parede em questão não for conhecida e experimentalmente consolidada, permite-se estabelecer, através do traçado do diagrama carga x deslocamento, uma resistência mínima de projeto.

b) Requisito 7.2 – Deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos SVVIE

Para que o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação habitacional seja assegurado, devem ser limitados os deslocamentos, as fissurações e as falhas a valores aceitáveis.

Os SVVIE destinados a edificações habitacionais de até 5 pavimentos devem atender aos limites de deslocamentos indicados na tabela 12, sem apresentar falhas que caracterizem o estado limite de serviço. Os com função estrutural devem também atender às exigências de 7,3 da ABNT NBR 15575-2.

Tabela 12 -Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrências de falhas sob ação de cargas de serviços

Elemento	Solicitação	Critério
SVVIE com função estrutural	Cargas verticais: $S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk} + S_{wk}$ (desconsiderar S_{wk} no caso de alívio da compressão)	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2500$
SVVIE com ou sem função estrutural	Cargas permanentes e deformações impostas $S_d = S_{gk} + S_{ek}$	Não ocorrência de falhas, tanto nas paredes como nas interfaces da parede com outros componentes
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^{(*)} = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$. Não ocorrência de falhas; . Limitação dos deslocamentos horizontais ^(b) : $d_h \leq h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} \leq h/2500$ (SVVE com função estrutural); $d_h \leq h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} \leq h/1750$ (SVVE com função de vedação). Entende-se neste critério como SVVE as paredes de fachada
(*) No caso de ensaios de tipo considerar $S_d = S_{gk} + 0,8 S_{wk}$ (b) Para paredes de fachada leves ($G \leq 60 \text{ Kg/m}^2$), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro dos valores acima indicados nesta tabela. onde: h é altura do elemento parede; d_h é o deslocamento horizontal instantâneo; d_{hr} é o deslocamento horizontal residual; S_{gk} é a solicitação característica devida a cargas permanentes; S_{ek} é o valor característico da solicitação devida à deformação específica do material; S_{qk} é o valor característico da solicitação devida a cargas acidentais ou sobrecargas de uso; S_{wk} é o valor característico da solicitação devida ao vento. Nota: estes limites aplicam-se, a princípio, a SVVIE destinados a edificações de até cinco pavimentos		

Fonte: ABNT (2013)

Para sistemas com função estrutural, os métodos de avaliação são os recomendados em 7.2 da ABNT NBR 15575-2. Para os sem função estrutural, deve-se realizar ensaio-tipo, análise de projeto ou cálculos, levando em consideração também os esforços devidos ao vento.

Para avaliação *in loco* do funcionamento do SVVIE, deve ser realizada verificação de campo. Nesse caso, a norma tolera a ocorrência de algumas fissuras e deslocamentos que se encontram especificados no item 7.2.1.1.3 da ABNT NBR 15575-4.

- c) Requisito 7.3 – Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedações internas e externas

Os SVVIE devem resistir às solicitações originadas pela fixação de peças suspensas (armários, prateleiras, lavatórios, hidrantes, quadros e outros), não apresentando fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos ou residuais, lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento. Critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão podem ser observados na tabela 13. Algumas considerações a respeito do uso da tabela, bem como métodos de avaliação e premissas de projeto são encontradas em 7.3.1 da ABNT NBR 15575-4, em “observações”.

Tabela 13- Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão francesa

Carga de ensaio aplicada em cada ponto	Carga de ensaio aplicada em cada peça, considerando dois pontos	Critérios de desempenho
0,4 kN	0,8 kN	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado limite de serviço Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2\ 500$
Onde: h é altura do elemento parede; d_h é o deslocamento horizontal instantâneo; d_{hr} é o deslocamento horizontal residual.		

Fonte: ABNT (2013)

- d) Requisito 7.4 – Impacto de corpo mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas, com ou sem função estrutural

Sob a ação de impactos progressivos de corpo mole, os SVVIE não devem sofrer ruptura ou instabilidade, apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha, bem como provocar danos a componentes, para as energias de impacto nas figuras 26 e 27.

Figura 26 - Tabela de impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
Vedação vertical com função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	960	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
		720	
		480	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		360	
		240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{tr} \leq h/1\ 250$
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		120	
	Impacto interno (todos os pavimentos)	480	Não ocorrência de ruína nem traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto (estado limite último)
		240	
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{tr} \leq h/1250$

Fonte: ABNT (2013)

Figura 27- Tabela de impacto de corpo mole para vedações verticais internas

Elemento	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
Vedações com função estrutural	360	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
	240	São admitidas falhas localizadas
	180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
	120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço). Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$; $d_{hr} \leq h/1250$
	60	Não ocorrências de falhas (estado limite de serviço)
Vedações sem função estrutural	120	Não ocorrência de ruína (estado limite último) São admitidas falhas localizadas
	60	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço). Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h \leq h/125^a$ $d_{hr} \leq h/625$
^a Para paredes leves ($G \leq 600 \text{ N/m}^2$), sem função estrutural, os valores do deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro do valor indicado nesta tabela. Nota: aplica-se também a casas térreas e sobrados		

Fonte: ABNT (2013)

A avaliação dos critérios deve ser realizada conforme especificado na norma ABNT NBR 11675.

Os projetos de revestimento interno das vedações verticais externas multicamadas devem assegurar a fácil reposição dos materiais de revestimento empregados e explicitar que o revestimento interno da parede de fachada multicamada não é integrante da estrutura da parede, nem considerado no contraventamento.

O nível de desempenho correspondente ao simples atendimento a esses requisitos da norma corresponde ao desempenho mínimo. Para informações sobre outros níveis de desempenho pode-se consultar o Anexo F da NBR 15575-4, que contém recomendações relativas a esses outros níveis.

- e) Requisito 7.5 – Impacto de corpo mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas – para casas térreas – com ou sem função estrutural

Os requisitos e os métodos de avaliação são os mesmos do item “d”. O que muda, nesse caso, são os critérios para cada energia de impacto em cada sistema de vedação. Esses critérios são encontrados nas tabelas 5 e 6 da ABNT NBR 15575-4. Essas e algumas outras tabelas não serão apresentadas nesse trabalho para evitar a redundância, visto serem muito semelhantes às apresentadas no item “d” e serem de fácil acesso através da norma, não sendo também o propósito desse trabalho apresentar a lista completa de tabelas presentes na norma.

- f) Requisito 7.6 – Resistir a Ações transmitidas por portas

Os SVVIE devem permitir o acoplamento de portas e satisfazer algumas condições de desempenho apresentadas pela norma, que envolvem não apresentar falhas, rupturas, fissurações e destacamentos no encontro com o marco em simulações de uso em operações de fechamentos bruscos. Um teste adicional de impacto de corpo mole deve ser realizado na porta, a fim de testar resistência de arrancamento do contra marco, bem como de estabilidade da parede, conforme 7.6.1 da ABNT NBR 15575-4. Métodos de avaliação são encontrados no item seguinte da norma (7.6.1.1), sendo alguns detalhes adicionais dados na ABNT NBR 15930-2 e ABNT NBR 14913.

- g) Requisito 7.7 – Impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural

Os critérios da resistência de impactos de corpo duro são semelhantes aos de corpo mole. As SVVIE não devem apresentar fissuras, escamações, delaminações, ruptura, traspassamento ou qualquer outro tipo de dano sob os impactos de corpo duro indicados nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas inclusive no revestimento (estado limite de serviço)
		20	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último)
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último)

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 15 - Impactos de corpo duro para vedações verticais internas

Sistema	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	2,5	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
	10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último)

Fonte: ABNT (2013)

A avaliação dos impactos deve ser feita, em laboratório ou em campo, de acordo com o Anexo B da ABNT NBR 15575-4 ou com a ABNT NBR 11675.

h) Requisito 7.8 – Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas

Os SVVIE devem resistir a esforço estático horizontal e vertical e impactos devidos a cargas de ocupação que atuam nos guarda-corpos e parapeitos da edificação habitacional. A ABNT NBR 15575-4 indica o atendimento à NBR 14718 relativos a esforços mecânicos e demais disposições previstas. Os mesmos métodos de ensaio para corpo mole e corpo duro valem para os parapeitos e guarda-corpos. Para casos especiais de esforços, o projeto deve prever as cargas de uso previstas e, com base nelas, estabelecer detalhes construtivos especiais caso necessário.

2.3.3.2. Segurança contra incêndio

Os próximos 3 requisitos ratam da segurança contra incêndio. É importante lembrar que as considerações da ABNT NBR 15575-4 devem ser levadas em conta juntamente com as considerações da ABNT NBR 15575-1 e ABNT NBR 15575-2.

a) Requisito 8.2 – Dificultar a ocorrência da inflamação generalizadas

Além da inflamação generalizada, o SVVIE deve dificultar a geração de fumaça excessiva a ponto de impedir a fuga dos ocupantes.

O método de avaliação indicado é o da ABNT NBR 9442. Porém, para algumas situações a classificação desse método não é apropriado, conforme 8.2.1.1 da ABNT NBR 15575-4, sendo indicado o uso da norma internacional EN 13823. Após a classificação das superfícies externas, o critério é o mesmo: para cada uso do SVVIE são permitidas certas classificações, conforme se segue:

- Para espaços de cozinha, classificação I, II A ou III A.
- Locais internos de habitação, exceto cozinha, classificação I, II A, III A ou IV A.
- Locais de uso comum, classificação I ou II A.
- Interior das escadas, classificação I ou II A, porém o Dm deve ser inferior a 100.

No caso de SVVIE que façam uso de material de miolo para isolamento térmico e acústico, esses materiais devem classificar-se obrigatoriamente como I, II A, III A ou IV A.

Quanto a classificação das superfícies externas e do material do miolo (quando aplicável), em 8.2.1 da ABNT NBR 15575-4, na tabela 10, encontramos instruções de classificação pelo método internacional EN 13823. Nesse trabalho nos limitaremos a apresentar a classificação indicada pela ABNT NBR 9442, conforme tabela 16.

Tabela 16 - Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442

Método de ensaio Classe		ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m > 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-

Fonte: ABNT (2013)

Notas: Δm – Variação da massa do corpo de prova; t_f – Tempo de flamejamento do corpo de prova; l_p – Índice de propagação superficial de chama; D_m – Densidade específica óptica máxima de fumaça; ΔT – Variação da temperatura no interior do forno; ISO 1182 – “Buildings materials – non – combustibility test”; ABNT NBR 9442 - Materiais de Construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de Ensaio; ASTM E 662 – “Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials”

Fonte: ABNT NBR 15575-4

b) Requisito 8.3 – Dificultar a propagação do incêndio

Esse item da norma apenas indica as classificações permitidas para superfícies externas das paredes de fachadas das edificações: I ou II B. O método de classificação do material é o mesmo do item anterior.

c) Requisito 8.4 – Dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação

Esse requisito trata de elementos estruturais e de compartimentação. Esses elementos devem atender a ABNT NBR 14432 a fim de evitar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação.

Para edificações de até 5 pavimentos, o tempo requerido de resistência ao fogo das paredes estruturais é de 30 minutos, assegurando condições de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmica. Para os demais casos, o tempo de resistência ao fogo deve ser considerado conforme a ABNT NBR 14432.

Para unidades de habitação unifamiliar isolada de até dois pavimentos, a ABNT NBR 15575-4 exige resistência ao fogo de 30 minutos apenas para cozinha e ambientes fechados que abriguem equipamentos de gás.

O método de ensaio para avaliação da resistência ao fogo de elementos estruturais é encontrado na ABNT NBR 5628.

2.3.3.3. Estanqueidade

- a) Requisito 10.1 – Infiltração de água nos sistemas de vedação verticais externas (fachadas)

Os SVVIE devem ser estanques às águas provenientes de chuvas ou de outras fontes. Para determinar essa estanqueidade, deve-se levar em conta a divisão regional da figura X apresentada logo abaixo. Cada região corresponde a uma pressão estática diferente devido a forças horizontais de vento. A tabela 11 do item 10.1.1 da ABNT NBR 15575-4 apresenta as condições de exposição conforme a região do Brasil, enquanto a tabela 12 apresenta os limites de permeabilidade conforme o tipo de edificação. Para esquadrias, deve-se atender a ABNT NBR 10821.

A tabela 11 e 12 da ABNT NBR 15575-4 são referentes ao nível mínimo de desempenho. Informações a respeito dos outros níveis encontram-se no Anexo F da mesma norma.

Para avaliação da estanqueidade de vedações externas, deve-se realizar o ensaio de tipo, de acordo com o Anexo C e tabela 12 da ABNT NBR 15575-4.

- b) Requisito 10.2 – Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel

O atendimento a esse requisito consiste em não permitir a infiltração de água pelas vedações de áreas molháveis através de suas faces. O item 10.2 da ABNT NBR 15575-4 trás os critérios e métodos de avaliação para atestar o desempenho nesse requisito. Como a impermeabilidade das áreas molhadas independe do sistema construtivo (convencional ou estrutural), mas depende de detalhes de projeto de revestimento para as áreas molhadas, não será um requisito de interesse para esse trabalho.

2.3.3.4. Desempenho térmico

. Para o próximo requisito, que diz respeito ao desempenho térmico, primeiramente deve ser feito um procedimento simplificado de análise do desempenho do SVVIE conforme consta na ABNT NBR 15575-4 e será abordado nos próximos subitens desse capítulo. Caso o SVVIE não atenda aos requisitos mínimos conforme esse critério, é necessário a aplicação do procedimento de análise de acordo com a ABNT NBR 15575-1, procedimento de simulação ou procedimento de realizações de medidas em campo.

- a) Requisito 11.2 – Adequação das paredes externas

Esse requisito impõe limites de transmitância térmica e absorptância à radiação solar máxima da superfície externa da parede, bem como capacidade térmica mínima da parede externa, com limites diferentes dependendo da zona bioclimática da edificação, conforme tabela 17 e 18 e figura 28. Os procedimentos de cálculo são apresentados na ABNT NBR 15220-2.

Tabela 17 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
^a α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

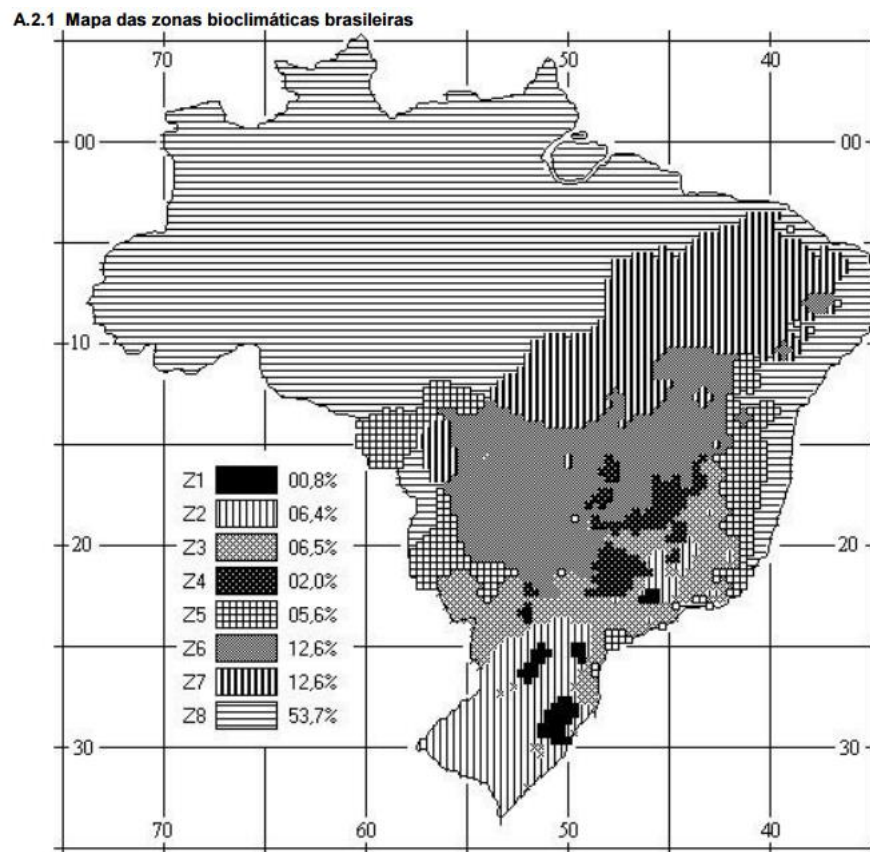
Fonte: ABNT (2013)

Tabela 18 - Capacidade térmica das paredes externas

Capacidade térmica (CT)	
kJ / m ² .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: ABNT (2013)

Figura 28 - Divisão das zonas bioclimáticas conforme condições de exposição



Fonte: ABNT NBR 15575-4

Ainda na parte de desempenho térmico, o requisito 11.3 traz uma tabela com as áreas mínimas de ventilação em dormitórios e salas de estar, que não será apresentada nesse trabalho por não ser o objetivo do mesmo tratar da parte de projeto arquitetônicos e sim do sistema construtivo.

2.3.3.5. Desempenho acústico

São três os métodos disponíveis para a verificação do desempenho acústico do SVVIE: o método de precisão, realizado em laboratório, o método de engenharia, realizado em campo, e o método simplificado de campo. O primeiro dos três determina a isolamento sonora de componentes e elementos construtivos que constituem o SSVIE, enquanto os outros dois servem para determinar em campo o isolamento sonoro global da edificação pronta. O método executivo dos três ensaios é encontrado em normas americanas ISSO, referenciadas no item 12.2 da ABNT NBR 15575-4.

Após seguir os métodos das normas ISSO, deve-se fazer uso das tabelas apresentadas pela ABNT NBR 15575-4 para valores mínimos de desempenho com respeito a diferença padronizada de nível ponderada de vedação externa de dormitório e entre ambientes, conforme tabela 19 e 20. Para valores correspondentes ao desempenho médio e superior, deve ser consultado o Anexo F da mesma norma.

Tabela 19 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30
<p>Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.</p> <p>Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos</p>		

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 20 - Valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Fonte: ABNT (2013)

Como as normas ISSO não possuem versões em português, os símbolos das tabelas foram mantidos em inglês. A ABNT NBR 15575-4 traz uma tradução da definição dos símbolos das duas tabelas no item 12.2:

- R_w - índice de redução sonora ponderado (weighted sound reduction index).
- $D_{nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada (weighted standardized level difference).
- $D_{2m,nT,w}$ - diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (weighted standardized level difference at 2 m).

2.2.3.6. Durabilidade e manutenibilidade

Os requisitos de durabilidade e manutenibilidade da ABNT NBR 15575-4 são os mesmos apresentados na ABNT NBR 15575-1 e já considerados nesse trabalho. O único adendo feito é quanto às reações à ação de calor e choque térmico.

O método de avaliação do critério ação de calor e choque térmico é apresentado no Anexo E da ABNT NBR 15575-4, sendo que, sob as condições do ensaio, as paredes externas não devem apresentar:

- deslocamentos horizontal instantâneo superior a 300/h no plano horizontal
- ocorrências de falhas como fissuras e descoloramentos que possam comprometer a utilização do SVVIE.

3. METODOLOGIA

Este trabalho está dividido em três etapas: revisão bibliográfica, pesquisa e apresentação dos resultados de ensaios de desempenho e conclusão.

A revisão bibliográfica foi dividida em três partes: Alvenaria Estrutural, ABNT NBR 15575 e Outros Sistemas Construtivos Racionalizados. Na primeira parte, analisamos através de autores conhecidos o histórico, as características, os componentes e o método de execução da alvenaria estrutural, sem diferenciação do tipo de bloco usado. Na segunda parte, foi feito uma revisão em forma de resumo da ABNT NBR 15575, objetivando a assimilação da referida norma pelo autor, visto ela não ser conteúdo em nenhuma das disciplinas do curso atualmente. Na terceira parte, analisamos outros sistemas construtivos racionalizados conforme Documentos de Avaliação Técnica (DATEC) fornecidos pelo SINAT, para que possamos mais a frente no trabalho fazer uma comparação das características de desempenho desses sistemas com as características de desempenho do sistema objeto de estudo desse trabalho.

Todos os ensaios apresentados nesse trabalho seguem as metodologias indicadas pela ABNT NBR 15575 ou normas citadas por ela para cada requisito de desempenho. Essas metodologias não serão abordadas em detalhes nesse trabalho devido a grande extensão das instruções referentes a cada ensaio, podendo as mesmas serem obtidas dentro de cada requisito de desempenho apresentado pela norma e considerado nesse trabalho.

A tabela 21 apresenta uma relação entre critérios de desempenho e métodos de ensaio. Na coluna a esquerda são apresentados os critérios de desempenho para os quais foram obtidos resultados de ensaios nesse trabalho e a coluna a direita apresenta onde são encontradas as metodologias desses ensaios.

Tabela 21-Normas bases das metodologias de ensaio

Critério de Desempenho		Método de ensaio
Desempenho Estrutural	Impacto de corpo-mole	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 7.4
	Impacto de corpo-duro	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 7.7
	Solicitações de peças suspensas	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 7.3
Desempenho Térmico	Avaliação por ensaio do SVVIE	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 11.2
	Análise global de edificação contruída com blocos estruturais de concreto	ABNT NBR 15575 – Parte 1 – ITEM 11.2
Desempenho Acústico	Paredes externas	ISO 10140-2
	Paredes internas	ISO 10140-2
Estanqueidade	Infiltração decorrente da ocupação do imóvel	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 10.2
	Infiltração externa	ABNT NBR 15575 – Parte 4 – Requisito 10.1
Segurança Contra Incêndio		ABNT NBR 14432 - ABNT NBR 5628 – ABNT NBR 10636

Fonte: Autor.

Algumas informações e métodos necessários para o entendimento dos resultados são apresentados no capítulo seguinte, juntamente com os resultados de cada requisito de desempenho. Apesar dessa abordagem não ser usual, esse trabalho a utiliza para facilitar o entendimento do leitor, levando em conta que o entendimento dos resultados de desempenho necessitam da compreensão de alguns dos métodos de ensaio, compreensão essa que seria

dificultada se fossem abordados todos os métodos para apenas depois serem abordados os resultados, tendo em vista a quantidade de ensaios.

É importante também notar que os ensaios utilizados nesse trabalho não são de autoria do autor, cabendo ao mesmo apenas a análise em conjunto com a ABNT NBR 15575 e a discussão dos resultados. Para análise do desempenho estrutural, foi feito uso de relatórios de ensaio produzidos pela empresa Falcão Bauer e do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria. Para análise do desempenho térmico, fez-se uso de relatórios de ensaio produzidos pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina e do Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul. Para análise do desempenho acústico, fez-se uso dos relatórios produzidos pelo instituto Itt Performance da Universidade do Vale dos Sinos. Para análise da estanqueidade, foram analisados os resultados trazidos pelo acadêmico Felipe Felin Neves em seu trabalho de conclusão de curso, o ensaio feito pelo acadêmico Alex Fabiano Hattge para a sua dissertação de mestrado e os ensaios e imagens produzidos pelo Doutor Niubis Luperón Mustelier para a sua tese de doutorado. Para análise da segurança contra incêndio, fez-se uso de relatórios técnicos produzidos pelo Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Uma análise da sustentabilidade do sistema foi feita com base em dados e observações apresentadas por autores referenciados.

Dados de desempenho retirados dos DATECs fornecidos online pelo SINAT, com links disponíveis nas referências desse trabalho, foram utilizados, juntamente com os ensaios abordados no capítulo quatro, para a realização de um comparativo entre o sistema de estudo desse trabalho com os outros sistemas racionalizados abordados no capítulo dois.

Conforme apresentado no capítulo dois, a norma traz três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). Para alguns casos, como segurança contra incêndio, a norma traz apenas o desempenho mínimo. Apesar de a norma solicitar apenas que o desempenho mínimo seja cumprido, analisaremos os três níveis de desempenho (quando disponíveis), para que se possa ter um entendimento melhor de em quais requisitos deve ser

tomado um cuidado maior na hora de projetar a edificação utilizando o sistema construtivo estudado.

No último capítulo, é feita uma conclusão com o objetivo de responder as questões de pesquisa apresentadas no capítulo um.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados de ensaios obtidos através de pesquisa bibliográfica. Esses resultados serão analisados e discutidos com base na ABNT NBR 15575, atribuindo-se níveis de desempenho conforme indica a norma.

4.1. DESEMPENHO ESTRUTURAL

Tanto a ABNT NBR 15575-2 como a ABNT NBR 15575-4 trazem requisitos de impacto de corpo mole e corpo duro, sendo a primeira com valores e métodos voltados a estruturas e a segunda relacionada à análise de vedações, com ou sem função estrutural. No item 7.4 da ABNT NBR 15575-2, porém, a norma dispensa de verificação dos requisitos de impactos de corpo mole e corpo duro as estruturas projetadas conforme norma específica pro sistema estrutural que será adotado, no nosso caso a ABNT NBR 10837 – Cálculo de Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto. Analisaremos aqui então apenas ensaios referentes a parte 4 da ABNT NBR 15575 que, como já mencionado, devem ser atendidos tanto para sistemas de vedação sem função estrutural como para sistemas de vedação com função estrutural.

4.1.1. Impacto de corpo-mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas com função estrutural

A ABNT NBR 15575-4 traz, para vedações com função estrutural, requisitos diferentes para casas térreas e edificações com mais de um pavimento, bem como diferentes requisitos para vedações externas e internas para os dois tipos de habitações. Dentre as tabelas de verificação, a com valores críticos (mais exigente) é a de critérios de desempenho impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachada) para edifícios com mais de um pavimento, em elementos com função estrutural, impacto externo, para desempenho mínimo (tabela 22). O Anexo F traz valores para diferentes níveis de desempenho, mas no caso de vedações com função estrutural em edificações com mais de um pavimento, somente o nível de desempenho mínimo é apresentado, sendo portanto considerado totalmente satisfatório nesse caso. Vale a pena observar que esses mesmos valores correspondem a um nível de desempenho superior caso a habitação considerada for de uma casa térrea.

Tabela 22 - Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
Vedação vertical com função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	960	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
		720	
		480	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		360	
		240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{hr} \leq h/1\ 250$
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		120	

Fonte: ABNT (2013)

Os ensaios que serão utilizados nesse trabalho foram feitos pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer, relatório de ensaio nºCCC/266.578/13, elaborado a pedido da empresa de massa para assentamento VERDEFIX, a qual realizou a aplicação da massa pronta para confecção das paredes e dos prismas. Os resultados do ensaio são apresentados na tabela 23.

Detalhes do ensaio:

- Blocos de concreto estrutural
- Dimensões dos blocos: 140 x 190 x 390mm
- Espessura da parede dos blocos aproximada de 35mm
- Argamassa de assentamento utilizada: Massa para assentamento Verdefix
- Dimensões da parede ensaiada: 2,48 x 2,10 , 0,14 m

Tabela 23 - Resultado do ensaio de impacto de corpo mole

Impactos Externos			
Energia (J)	Deslocamento (mm)		Observações
	Instantâneo	Residual	
120	-	-	Nenhuma Ocorrência
180	-	-	Nenhuma Ocorrência
240	1,95	0,05	Nenhuma Ocorrência
360	-	-	Nenhuma Ocorrência
480	-	-	Nenhuma Ocorrência
720	-	-	Nenhuma Ocorrência
960	-	-	Nenhuma Ocorrência

Fonte: Adaptado de Falcão Bauer.

Como podemos ver na tabela 22, nenhuma ocorrência (falha ou ruína) foi registrada, caracterizando aprovação do bloco no quesito impacto de corpo mole com o desempenho mínimo (M), único disponível na norma para edificações residenciais com mais de um pavimento. Para casas térreas, o desempenho atingido é equivalente ao superior (S), conforme Anexo F da ABNT NBR 15575-4. A figura 29 mostra o protótipo pós-impacto.

Figura 29 - Protótipo pós-impacto



Fonte: Falcão Bauer (2013).

4.1.2. Impacto de corpo-duro incidente nos SVVIE com função estrutural

A ABNT NBR 15575-4 traz dois requisitos de impactos de corpo duro diferentes, um para o lado externo das paredes de alvenaria de fachada, em pavimentos com acesso externo ao público, e outro para o lado interno, que serve tanto para o lado interno da alvenaria de fechada como para as paredes de alvenaria internas. Os critérios de desempenho com seus respectivos níveis são apresentados nas duas tabelas abaixo, retiradas do Anexo F da ABNT NBR 15575-4.

Tabela 24 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural;	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas, inclusive no revestimento	M
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
		3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas	M
		10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
		2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I
		10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	

^a Para parapeitos recomenda-se somente os impactos de corpo-duro de grandes dimensões ($E = 20$ J para parapeito externo e $E = 10$ J para parapeito interno).

Fonte: ABNT (2013)

Tabela 25 - Impactos de corpo duro para vedações verticais internas

Sistema	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	2,5	Não ocorrência de falhas	M
	10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
	2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I; S
	10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	

Fonte: ABNT (2013)

O ensaio usado para avaliação dos critérios é o mesmo que foi utilizado para os critérios de impactos de corpo mole, produzidos pelo Centro Tecnológico de Controle de Qualidade Falcão Bauer, de acordo com a ABNT NBR 15575-4, e os resultados são apresentados nas tabelas 26 e 27.

Tabela 26 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro (externo)

Impacto Externo (esfera de 500g)			
Impacto	Energia (J)	Profundidade da Mossa (mm)	Observação
1º	3,75	Superficial	Nenhuma
2º		Superficial	Nenhuma
3º		Superficial	Nenhuma
4º		Superficial	Nenhuma
5º		Superficial	Nenhuma
6º		Superficial	Nenhuma
7º		Superficial	Nenhuma
8º		Superficial	Nenhuma
9º		Superficial	Nenhuma
10º		Superficial	Nenhuma
Impacto Externo (esfera de 1000g)			
1º	20,0	Superficial	Nenhuma
2º		Superficial	Nenhuma
3º		2,50	Mossa
4º		1,20	Mossa
5º		2,20	Mossa
6º		2,10	Mossa
7º		1,30	Mossa
8º		2,40	Mossa
9º		1,10	Mossa
10o		2,55	Mossa

Fonte: Adaptado de Falcão Bauer (2013).

Tabela 27 - Resultados do ensaio de impacto de corpo duro (impacto interno)

Impacto Interno (esfera de 500g)			
Impacto	Energia (J)	Profundidade da Mossa (mm)	Observação
1º	2,50	Superficial	Nenhuma
2º		Superficial	Nenhuma
3º		Superficial	Nenhuma
4º		Superficial	Nenhuma
5º		Superficial	Nenhuma
6º		Superficial	Nenhuma
7º		Superficial	Nenhuma
8º		Superficial	Nenhuma
9º		Superficial	Nenhuma
10º		Superficial	Nenhuma
Impacto Interno (esfera de 1000g)			
1º	10,0	0,45	Mossa
2º		0,40	Mossa
3º		0,50	Mossa
4º		0,35	Mossa
5º		0,50	Mossa
6º		0,55	Mossa
7º		0,40	Mossa
8º		0,45	Mossa
9º		0,40	Mossa
10o		0,50	Mossa

Fonte: Adaptado de Falcão Bauer (2013).

Como pôde-se observar nas tabelas, tanto para alvenaria de fachada (impacto externo e interno) quanto para alvenaria interna, a alvenaria de bloco estrutural de concreto apresentou o melhor nível de desempenho proposto pela norma, a saber, Intermediário (I) para alvenaria de fachada e Superior (S) para alvenaria interna. A figura 30 mostra o protótipo antes do ensaio.

Figura 30 - Protótipo antes do ensaio

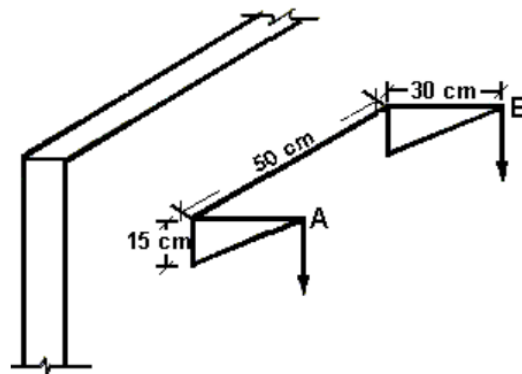


Fonte: Falcão Bauer (2013)

4.1.3. Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedações internas e externas

Conforme o critério 7.3.1 da ABNT NBR 15575-4, os sistemas de vedação vertical da edificação, quando sob ação de cargas suspensas, não devem apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos e deslocamentos horizontais residuais, lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação ou o seu esmagamento. Para avaliação de desempenho, deve ser realizado ensaio-tipo de acordo com os métodos de ensaio indicados no Anexo A da ABNT NBR 15575-4. A figura 31 mostra o esquema para ensaio apresentado pelo referido anexo.

Figura 31 - Esquema de mão-francesa para ensaios de peças suspensas



Fonte: ABNR NBR 15575-4.

Tabela 28 - Cargas de ensaio, critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão e respectivos níveis de desempenho

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada na peça kN	Critério de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>M</i>
0,5	1,0	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>I</i>
0,6 kN	1,2 kN	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>S</i>
<p>Onde:</p> <p>h é altura do elemento parede;</p> <p>d_h é o deslocamento horizontal;</p> <p>d_{hr} é o deslocamento residual.</p>			

Fonte: ABNT (2013)

A tabela 28 apresenta os níveis de desempenho para cada carga de ensaio suportada. Para verificação deste item fez-se o uso dos Relatórios de Ensaio nº 84305 do Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. O ensaio foi realizado seguindo todos os requisitos exigidos pela norma em um corpo de prova de bloco de concreto estrutural, com resistência de 7 Mpa de dimensões 14x19x29cm. As dimensões totais do corpo de prova são de 4,12x3,20 m (figura 32).

Figura 32 - Ensaio de resistência às solicitações de peças suspensas



Fonte: LMCC-UFSM (2013).

Os resultados do ensaio são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 - Resultados finais para carga aplicada em mão-francesa

Ensaio	Carga Máx. - 1,2 kN		Observações
	Carga (kN) -	dh(mm)	
Parede de 17,5 cm de espessura	0,10	0,00	Carga máxima mantida constante por um período de 24 horas. Sem alterações.
	0,20	0,00	
	0,30	0,00	
	0,40	0,00	
	0,50	0,00	
	0,60	0,00	
	0,70	0,00	
	0,80	0,02	
	0,90	0,04	
	1,00	0,05	
	1,10	0,05	
	1,20	0,10	
Momento fletor máximo = 0,18 kNm Forças de compressão e de tração máximas = 1,2 kN			

Fonte: Adaptado de LMCC-UFSM (2013).

Como limite de deformação, temos $h/500$, que nesse caso resulta no valor de 6,4mm.

Nota-se pela tabela que, para aplicação de carga de 1,2KN, não ocorreram fissuras ou deslocamentos e os deslocamentos horizontais se mantiveram dentro dos limites, sendo atribuído desempenho superior nesse requisito.

4.2. DESEMPENHO TÉRMICO

A ABNT NBR 15575, na parte 4 e 5, traz critérios para avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica para os sistemas de vedação e de cobertura, respectivamente. Para os casos em que essa avaliação resultar em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional, conforme item 11.2 da ABNT NBR 15575-1.

Para avaliação dos requisitos de desempenho térmico, faremos uso do relatório de ensaio nº 282/2014, executado pelo CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – UFSC. O relatório apresenta o coeficiente de condutividade térmica de alguns materiais, conforme tabela 30.

Tabela 30 - Coeficiente de condutividade térmica dos materiais

Material	Espessura da amostra (mm)	Massa (g)	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica (W/mK)
Bloco de concreto – Classe A	29,1	622,1	2137	1,48
Monocamada (massa única)	20,6	311,2	1510	0,98
Gesso	21,6	220,1	1019	0,47
Argamassa	20,0	264,8	1325	0,69

Fonte: CB3E (2014).

Para análise do desempenho, precisamos dos valores de transmitância térmica e capacidade térmica. Calcularemos esses valores conforme especificado na ABNT NBR 15220, parte 2. Os resultados são apresentados na tabela 31.

Tabela 31 - Determinação da transmitância térmica e capacidade térmica

Tipologia da parede	Resultados		Critérios de Aprovação	
	Transmitância Térmica (U) (W/m ² .K)	Capacidade Térmica (CT) (kJ/m ² .K)	Zonas Bioclimáticas	
			1 e 2	3, 4, 5, 6, 7 e 8
Blocos de concreto: 14X19X39 cm – Classe A Revestimento: Interno: 15mm argamassa Externo: 25 mm argamassa	2,64	228,6	Não atende	Aprovado (M) para $\alpha \leq 6,0$
Blocos de concreto: 14X19X39 cm – Classe A Revestimento: Interno: 5 mm gesso Externo: 25 mm argamassa	2,65	202,0	Não atende	Aprovado (M) para $\alpha \leq 6,0$

Fonte: Adaptado de Silva (2014).

Como a avaliação resultou em desempenho térmico insatisfatório para a Zona 1 e 2, deve ser feita uma avaliação térmica global da edificação por método computacional, conforme ABNT NBR 15575-1. Os critérios e seus respectivos níveis de desempenho para a análise computacional são apresentados na figura 33.

Figura 33 - Tabela de critérios de Avaliação do desempenho térmico para as condições de verão e inverno

Nível de desempenho	Condições de verão		Condições de inverno	
	Zonas bioclimáticas			
	1 a 7	8	1 a 5	6 a 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

Fonte: ABNT (2013)

Faremos uso dos relatórios de ensaio produzidos pelo Laboratório de Tecnologia Construtiva da Universidade de Caxias do Sul (UCS), que avaliou através de simulação computacional o desempenho térmico global de uma edificação nas Zonas bioclimáticas 1 e 2, zonas essas apresentadas na figura 28. As condições climáticas das cidades adotadas para a simulação estão expressas na figura 34. Os dados do edifício são apresentados na tabela 32.

Figura 34 - Condições climáticas adotadas na simulação computacional

Cidade/Estado	Curitiba/PR	Santa Maria/RS
Zona Bioclimática (ABNT NBR 15220-3)	1	2
Temperatura máxima diária de verão (°C)	31,4	35,0
Amplitude diária de temperatura de verão (°C)	10,2	10,2
Temperatura mínima diária de inverno (°C)	0,7	0,8
Amplitude diária de temperatura de inverno (°C)	11,6	12,0

Curitiba: Dados extraídos na norma ABNT NBR 15575-1 – Tabelas A.2 e A.3

Santa Maria: Dados extraídos de arquivo climáticos epw. nov/2012 – LabEEEE/UFSC

Fonte: LTC-UCS (2014).

Tabela 32- Dados do edifício

Orientação da UH	Ambiente	Área do Piso	Área de abertura em fachada
Noroeste	Sala	9,38	1,96
	Dormitório 1	8,35	1,68
	Dormitório 2	7,63	1,68
Nordeste	Sala	9,38	1,96
	Dormitório 1	8,35	1,68
	Dormitório 2	7,63	1,68
Sudeste	Sala	9,38	1,96
	Dormitório 1	8,35	1,68
	Dormitório 2	7,63	1,68
Sudoeste	Sala	9,38	1,96
	Dormitório 1	8,35	1,68
	Dormitório 2	7,63	1,68

Fonte: Adaptado de LTC-UCS (2014)

A planta baixa do Edifício pode ser observada na figura 35.

Figura 35 - Planta baixa da edificação



Fonte: LTC – UCS (2014)

O edifício é composto por 17 pavimentos com 4 unidades habitacionais cada. Para vedação externa divisória com áreas comuns, foi considerado o uso de blocos de concreto de 14x19x39 cm, com revestimento de argamassa de reboco de 25 mm na parte externa e 15 mm na parte interna. Para vedação externa divisória com áreas privativas, foi considerado o uso de blocos de concreto de mesmas dimensões com revestimento externo de 25 mm de argamassa de reboco e revestimento interno de 5 mm de gesso. A cobertura adotada foi uma laje de concreto maciço de 10 cm, câmara-de-ar de alta emissividade e telha de fibrocimento de 8 mm. O sistema de piso adotado entre os pavimentos foi laje de concreto de 10 cm. Para aberturas externas, foi considerado o uso de vidro simples de 3 mm.

A simulação computacional foi feita usando o software Energyplus, conforme indicado pela ABNT NBR 15575. Foram estimadas as temperaturas internas dos ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais, conforme requisita a ABNT NBR 15575-1. Os resultados obtidos pela simulação computacional realizada pelo Laboratório de Tecnologia Construtiva – UCS são apresentados nas tabelas 33 a 36.

Tabela 33 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 1 com absorptância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,3$ (cor clara)

Orientação da UH	Noroeste			Nordeste			Sudeste			Sudoeste		
Zona Térmica	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2
Calculado Verão (°C)	21,7	22,6	22,4	21,7	22,9	22,7	21,7	22,6	22,4	21,7	22,8	22,7
Referência Verão (°C)	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Calculado Inverno (°C)	12,2	11,7	11,2	11,9	11,5	11,3	11,9	11,5	11,2	12,2	11,8	11,3
Referência Inverno (°C)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Fonte: Adaptado de LTC-UCS (2014)

Tabela 34 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 1 com absorptância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,7$ (cor escura)

Orientação da UH	Noroeste			Nordeste			Sudeste			Sudoeste		
Zona Térmica	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2
Calculado Verão (°C)	21,8	23,1	22,7	21,8	23,5	23,0	21,8	23,2	22,7	21,8	23,5	23,0
Referência Verão (°C)	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Calculado Inverno (°C)	12,3	12,2	11,4	11,9	11,9	11,5	11,9	11,7	11,4	12,3	12,4	11,5
Referência Inverno (°C)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Fonte: Adaptado de LTC-UCS (2014)

Tabela 35 - Resultados para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 2 com absorptância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,3$ (cor clara)

Orientação da UH	Noroeste			Nordeste			Sudeste			Sudoeste		
Zona Térmica	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2
Calculado Verão (°C)	24,2	25,4	25,2	24,2	25,6	25,5	24,2	25,3	25,2	24,2	25,7	25,5
Referência Verão (°C)	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Calculado Inverno (°C)	11,3	10,7	10,2	11,0	10,6	10,4	11,0	10,5	10,2	11,3	10,9	10,4
Referência Inverno (°C)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Fonte: Adaptado de LCT-UCS (2014)

Tabela 36 - Resultado para os ambientes de permanência prolongada do Edifício B na ZB 2 com absorvância à radiação solar da superfície externa $\alpha = 0,7$ (cor escura)

Orientação da UH	Noroeste			Nordeste			Sudeste			Sudoeste		
Zona Térmica	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2	Sala	Dor1	Dor2
Calculado Verão (°C)	24,3	26,0	25,4	24,2	26,1	25,7	24,2	25,8	25,4	24,3	26,3	25,7
Referência Verão (°C)	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Calculado Inverno (°C)	11,4	11,1	10,4	11,1	10,9	10,6	11,1	10,7	10,4	11,4	11,4	10,6
Referência Inverno (°C)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Desempenho	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

Fonte: Adaptado de LTC – UCS (2014)

Conforme pode-se observar nos relatórios dos estudos realizados pela UCS, as edificações com sistemas de vedação em blocos de alvenaria estrutural de concreto podem obter desempenho superior (S) conforme critérios da ABNT NBR 15575-1. Considerando-se que as zonas 1 e 2 são as mais críticas em critérios de desempenho, essa conclusão pode ser estendida às demais regiões térmicas do Brasil. Além disso, o estudo mostra o quão importante é levar em conta a globalidade da edificação quanto à avaliação do desempenho térmico.

4.3. DESEMPENHO ACÚSTICO

Conforme analisado no capítulo 2 deste trabalho, são ABNT NBR 15575-4 traz três métodos diferentes para verificação de desempenho acústico. Visto que estamos analisando o método construtivo e não uma edificação específica, faremos uso do método que permite avaliar o componente ou elemento construtivo: o método de precisão, realizado em laboratório. Esse método de ensaio é descrito na ISO 10140-2. Nesse método avalia-se o R_w - índice de redução sonora ponderado (weighted sound reduction index). Os níveis de desempenho e seus respectivos requisitos se encontram nas tabelas 37 (para componentes de fachada) e 38 (para componentes utilizados nas vedações entre ambientes).

Tabela 37 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de fachadas

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Fonte: ABNT (2013)





Tabela 38 - Índice de redução sonora ponderado, R_w , de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Fonte: ABNT (2013)

Para avaliação do desempenho acústico será feito uso dos Relatórios de ensaio UNISINOS – Números 0439/2014, 0440/2014, 0417/2014 e 0442/2014, executados pelo Instituto itt Performance da Universidade do Vale dos Sinos. Os resultados dos relatórios estão sintetizados abaixo, na tabela 39.

Tabela 39 - Resultados de desempenho acústico (ISO 10140-2)

Componente	Tipologia da Parede			
Número da parede	1	2	3	4
Tipologias das paredes				
Bloco de concreto (mm)	90x190x390	115x190x390	140x190x390	190x190x390
Assentamento (juntas)	Argamassa – espessura de 10 mm			
Revestimento (interno e externo)	Gesso – espessura de 5 mm			
Resultados				
Relatório UNISINOS	Índice de redução sonora ponderada R_w (dB)			
	40	44	44	47

Fonte: Adaptado de Instituto Itt Performance (2014).

Sendo tomados os resultados apresentados nos relatórios do Instituto Itt Performance (2014), as paredes foram classificadas conforme o desempenho acústico estabelecido na ABNT NBR 15575-4. A classificação do desempenho acústico das paredes ensaiadas é apresentada na tabela 40.

Tabela 40 - Classificação do desempenho acústico em função de R_w

Índice de redução ponderada	Classificação de desempenho			
Número da parede	1	2	3	4
Resultado dos relatórios	40	44	44	47
Classe de ruído I	S	S	S	S
Classe de ruído II	S	S	S	S
Classe de ruído III	I	I	I	S
Parede entre UH (menos dormitório)	M	M*	M*	M
Parede entre UH (dormitório)	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Parede cega dormitório - área comum (trânsito eventual)	Não atende	M*	M*	M
Parede cega sala/cozinha – Área	I	I	I	S

Comum (trânsito eventual)				
Parede cega UH – área comum de permanência	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
Conjunto de paredes de unidades distintas separadas pelo Hall.	Não atende	M*	M*	M

*Para atendimento ao requisito mínimo, as paredes deve ser revestido com argamassa à base de cimento com no mínimo 15mm de espessura em cada face (avaliação com base no manual técnico de alvenaria (ABCI, 1990).

Fonte: Adaptado de Instituto Itt Performance (2014)

4.4. ESTANQUEIDADE

A exposição à água da chuva, à umidade proveniente do solo e a umidade proveniente do uso da edificação aceleram os mecanismos de deterioração e acarretam em perda de condições de habitabilidade e higiene do ambiente, devendo ser consideradas em projeto (ABNT NBR 15575-1, 2013). São dois os requisitos de desempenho apresentados pela ABNT NBR 15575-4, ambos já considerados no capítulo 2. Serão revisados brevemente os dois requisitos para então serem apresentados os resultados de ensaios obtidos por pesquisa bibliográfica e avaliados conforme os critérios da norma. Optou-se por apresentar-se os requisitos na ordem inversa, pois a conclusão do segundo requisito ajuda a entender os resultados do primeiro.

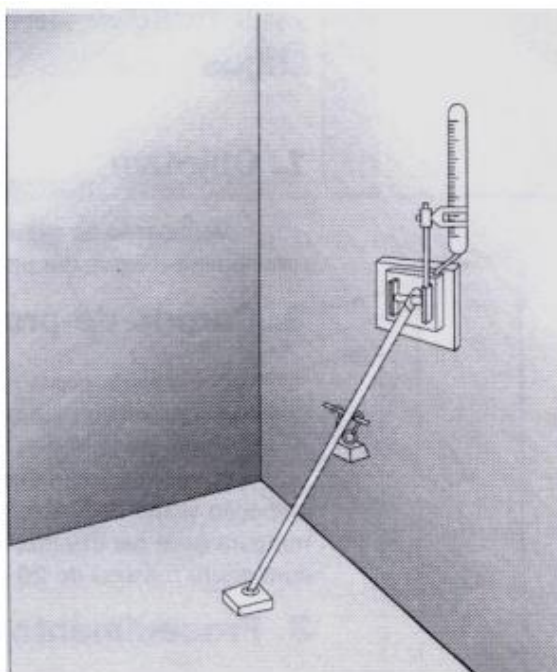
4.4.1. Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas decorrentes da ocupação do imóvel

A alvenaria não deve permitir infiltração de água através de suas faces quando em contato com áreas molháveis e molhadas. A quantidade de água que penetra a parede não deve ser superior a 3cm², por um período de 24 horas, numa área exposta com dimensões de 34 cm x 16 cm, conforme Critério 10.2.1.

Conforme Anexo D da ABNT NBR 15575-4, o ensaio consiste em submeter um trecho de parede à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada a parede. Esse anexo trás todos os procedimentos necessários para a obtenção dos dados. O ensaio é realizado com uma caixa acoplada a parede e uma bureta graduada para reposição de

água da caixa acoplada. O resultado é medido através da bureta, pela diferença do nível de água final dentro da bureta e o nível final, que corresponde a quantidade de água infiltrada. A figura 36 traz uma representação do ensaio.

Figura 36- Acoplamento da câmara de ensaio a parede



Fonte: ABNT NBR 15575-4

Os ensaios utilizados para avaliação desse requisito serão ensaio realizados em alvenaria sem revestimento, para uma melhor análise da contribuição dos blocos de concreto na estanqueidade. Um deles é o ensaio realizado pelo acadêmico Felipe Felin Neves (2015), da Universidade Federal de Santa Maria, apresentado na figura 37. O outro ensaio, é o do acadêmico Alex Fabiano Hattge (2004), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desenvolvido para a sua dissertação de mestrado.

Figura 37 - Ensaio de infiltração decorrente da ocupação do imóvel



Fonte: Felipe Felin Neves (2015)

Ambos os testes apresentaram o mesmo resultado: impossibilidade de leitura da bureta graduada. A infiltração de água foi tão grande que a água da bureta foi esgotada logo nos primeiros minutos de ensaio, impossibilitando a obtenção de um resultado numérico após as 24 h de ensaio recomendados pela norma.

Vale lembrar que as exigências de desempenho da norma se aplicam ao SVVIE completo, já revestido, da edificação pronta. Portanto, não se pode considerar que os blocos de concreto não são adequados para uso conforme a ABNT NBR 15575-4 (2013), visto que o revestimento pode ser estanque o suficiente para garantir o cumprimento da norma. Porém, o baixo desempenho também não deve ser desconsiderado, devendo ser levado em conta na escolha do tipo e na definição da espessura do revestimento, o que pode acabar tornando o sistema construtivo um pouco menos interessante economicamente.

4.4.2. Infiltração de água nos sistemas de vedação verticais externas

O sistema de vedação deve ser estanque à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes externas, não apresentando infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos, ou formação de gotas de água aderentes na face interna.

Os ensaios para verificar a estanqueidade à água de vedações verticais externas devem ser realizados conforme Anexo C da ABNT NBR 15575-4 (2013), que diz: “O ensaio consiste em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo-de-prova do SVVE a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face”. A pressão aplicada no corpo de prova depende da região na qual se pretende executar a edificação, conforme 10.1.1 da ABNT NBR 15575-4 (2013). O ensaio deve durar 7h. Ao fim do ensaio, o percentual máximo da soma das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água, deve respeitar os limites da tabela 41.

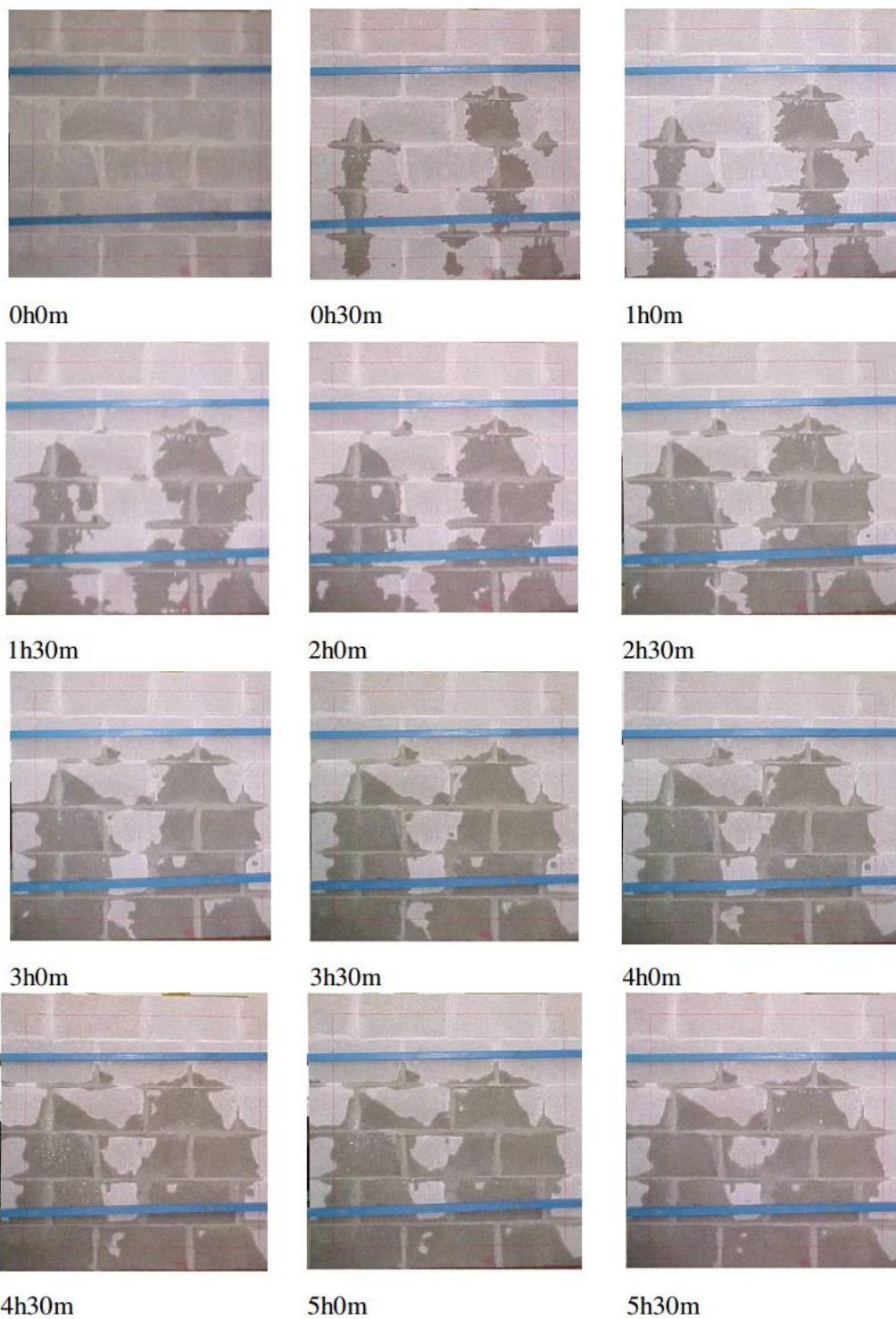
Tabela 41 - Estanqueidade à água de vedações verticais externas e esquadrias

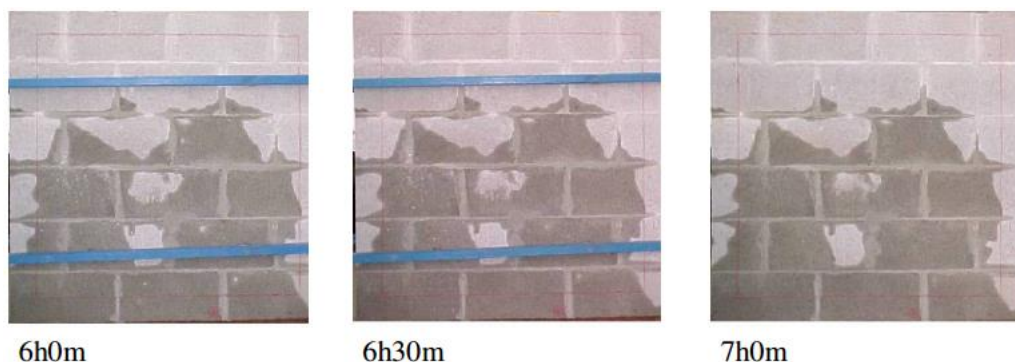
Edificação	Tempo de ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo-de-prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio
Térrea (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	10
Com mais de um pavimento (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	5
Esquadrias	Devem atender à ABNT NBR 10821	
O Anexo F contém recomendações relativas a outros níveis de desempenho.		

Fonte: ABNT (2013)

O ensaio utilizado para verificação desse requisito foi realizado pelo Doutor Niubis Luperón Mustelier (2008) para a sua tese de doutorado, realizado com blocos de concreto de 20 cm de espessura revestido apenas na face com incidência da água, de 2 cm. O ensaio foi repetido em dois corpos de prova, como recomenda a norma. O andamento do ensaio de um dos corpos de prova pode ser verificado logo abaixo na figura 38.

Figura 38 - Andamento do ensaio de estanqueidade





Fonte: Mustelier (2008)

Os resultados do percentual final da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência de água, em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água foram de 54,2% no corpo de prova 1 (apresentado nas imagens) e de 46,50% no corpo de prova 2, sendo o valor adotado 50%, a média arredondada dos valores. Foram ensaiadas mais 22 paredes, com diferentes composições da argamassa de revestimento, porém todas com apenas 2 cm de espessura, e dois blocos de tamanhos diferentes. O resultado com o menor valor foi de 13%, para argamassa com cinza pesada em substituição à areia e com adição de incorporador de ar.

Como era de se esperar pelo resultado no requisito anterior, o bloco estrutural de concreto apresentou um desempenho ruim à infiltração de águas em fachadas. Também análogo ao requisito anterior, o resultado ruim nos ensaios não significa a impossibilidade de atendimento a norma no sistema construtivo em alvenaria estrutural, visto que os requisitos da norma se aplicam ao que é entregue ao cliente, que nesse caso envolve o SVVIE completo com revestimento dos dois lados, porém exige uma atenção maior na hora de projetar com relação ao tipo e espessura do revestimento escolhido, podendo tornar menos atrativo economicamente o uso desse sistema de vedação.

4.5. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

A ABNT NBR 15575-4 traz três requisitos no item “8. Segurança contra incêndio”, que estão listados abaixo:

- 8.2. Requisito – Dificultar a ocorrência de inflamação generalizada;
- 8.3. Requisito – Dificultar a propagação do Incêndio;
- 8.4. Requisito – Dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação;

Os dois primeiros requisitos trazem critérios não aplicáveis a alvenaria estrutural em blocos de concreto, sem revestimento ou revestidas de gesso ou materiais a base de concreto, visto que tanto o concreto (Neville, 1982) quanto o gesso (Knauf, 2015) são materiais incombustíveis. Já abordamos os três requisitos na revisão bibliográfica, portanto, aqui nos absteremos a abordar o requisito aplicável ao elemento de interesse, o terceiro da lista.

Conforme vimos na revisão bibliográfica e revisaremos agora, a ABNT NBR 15575-4, para controlar os riscos de propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação em situação de incêndio, traz como requisito que os sistemas ou elementos de vedação vertical que integram as edificações habitacionais atendam a ABNT NBR 14432, que diz que o tempo requerido de resistência ao fogo deve ser considerado conforme a altura da edificação habitacional. No caso de edificações habitacionais de até cinco pavimentos, as paredes estruturais devem apresentar resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos, sendo que dentro desse tempo deve-se assegurar condições de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmica. A tabela 42, retirada da ABNT 14432, traz os tempos mínimos requeridos de resistência ao fogo conforme características da edificação, lembrando que edificações de até cinco pavimentos necessitam apenas de garantia de 30 minutos de proteção.

Tabela 42 - Tempos requeridos de resistência ao fogo

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: ABNT (2013)

A resistência ao fogo dos elementos estruturais constituintes do SVVIE deve ser comprovada em ensaios realizados conforme a “ABNT NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo”, enquanto a dos elementos sem função estrutural deve ser comprovada em ensaios realizados conforme a “ABNT NBR 10636 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo”.

Segundo as normas de determinação de resistência ao fogo citadas, são adotados três critérios de resistência ao fogo: estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico. Quando atender a todos os critérios, o corpo de prova é considerado Corta-fogo, quando atender apenas os critérios de estabilidade e estanqueidade, Para-chamas. O resultado é dado em “Grau de resistência ao fogo”, expresso em minutos, correspondente ao tempo de ensaio durante o qual os corpos-de-prova satisfazem aos critérios de resistência correspondentes à sua categoria, podendo ser um dos seguintes: 360, 240, 180, 120, 90, 60, 45, 30 ou 15. Os critérios são considerados abaixo:

- Estabilidade: Considera-se estável o corpo de prova que não entrar em colapso.

- Estanqueidade: Considera-se estanque o corpo de prova que não apresentar trincas ou aberturas suficientes para permitir a passagem de gases quentes ou chamas capazes de inflamar um algodão colocado na face não exposta.

- Isolamento térmico: Considera-se o corpo de prova satisfatório como isolante térmico enquanto não houver na face não exposta aumento na temperatura média superior a 140°C e, em qualquer medidor na mesma face, aumento superior a 180°C.

Para analisar esse requisito, faremos uso dos resultados do Relatório Técnico No 21/2014 do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os ensaios foram produzidos de acordo com as normas de determinação de resistência ao fogo. Uma síntese dos resultados obtidos pode ser observada nas tabelas 43 e 44.

Tabela 43 - Síntese dos resultados do relatório 22/2014 – Leme/UFRGS - Parede com blocos de concreto sem função estrutural (14x19x39) cm - ABNT NBR 10636

Amostra		Blocos de concreto: 14x19x39cm Resistência à compressão: 4 MPa – Classe C			
Corpo de Prova		Seguimento de parede com dimensões: 2,5 x 2,5 x 0,15 m Revestimento: 5mm de gesso nas duas faces			
Condições de Ensaio		Exposição total de quatro horas no patamar de 900 °C ± 5%			
Resultados					
Isolamento térmico		Estabilidade	Estanqueidade	Grau de resistência ao fogo	Categoria de resistência ao fogo
Temperatura média da face não-exposta	Temperatura máxima da face não-exposta				
< 140°C + 20°C	< 180°C + 20°C	Face interna: Fissura no gesso, mas sem despreendimento.	Chumaço de algodão não inflamou	>240 min	Corta-fogo
Satisfatório		Face externa: sem alteração significativa.	Estanque	Atende TRRF de 240 min	

Fonte: Adaptado de LEME/UFRGS (2014)

Tabela 44 - Síntese dos resultados do relatório 23/2014 – Leme/UFRGS - Parede com blocos de concreto com função estrutural (14x19x39) cm - ABNT NBR 5628

Amostra		Blocos de concreto: 14x19x39cm Resistência à compressão: 9 MPa – Classe C			
Corpo de Prova		Seguimento de parede com dimensões: 2,5 x 2,5 x 0,15 m Revestimento: 5mm de gesso nas duas faces			
Condições de Ensaio		Exposição total de quatro horas no patamar de 900 °C ± 5%			
Resultados					
Isolamento térmico		Estabilidade	Estanqueidade	Grau de resistência ao fogo	Categoria de resistência ao fogo
Temperatura média da face não-exposta	Temperatura máxima da face não-exposta				
< 140°C + 20°C	< 180°C + 20°C	Face interna: Despreendimento parcial do gesso.	Chumaço de algodão não inflamou	>240 min	Corta-fogo
Satisfatório		Face externa: Despreendimento parcial do gesso. Aparecimento de fissura vertical em ambas as faces laterais da parede.	Estanque	Atende TRRF de 240 min	

Fonte: Adaptado de LEME/UFRGS (2014)

De forma geral, os resultados dos ensaios realizados indicam que o tempo de resistência a altas temperaturas do segmento de parede pode ser considerado como sendo superior a 240 minutos, com mudanças de temperaturas da face não exposta dentro do permitido e sem apresentar ruptura. Quanto à estanqueidade a gases quentes, pode-se concluir que o elemento ensaiado apresentou condições satisfatórias, pois resistiu a quatro horas de ensaio sem permitir o vazamento de gases quentes que inflamassem o algodão.

O corpo-de-prova foi classificado como Corta-Fogo por 240 minutos, sendo que o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) máximo requerido pela ABNT NBR 14432 para ocupação residencial é de 120 min. Como não há classificações divididas entre mínimo, intermediário e superior, consideraremos o desempenho em segurança contra incêndio da alvenaria estrutural em blocos de concreto satisfatório.

4.6. SUSTENTABILIDADE

A ABNT NBR 15575 parte 1 traz, no item 4.4, “sustentabilidade” como uma exigência do usuário. Segundo a referida norma, as exigências do usuário relativas à sustentabilidade são expressas por três fatores”

- durabilidade
- manutenibilidade
- impacto ambiental

4.6.1. Durabilidade

“A durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel” (ABNT, 2013). Segundo a norma, o projeto deve especificar o valor teórico para a Vida Útil de Projeto para cada um dos sistemas que o compõe. Como corolário, a escolha dos métodos construtivos e materiais deve ser feita levando em conta a vida útil de projeto que se deseja atingir.

Segundo Teixeira (2013) a durabilidade depende muito da qualidade do material empregado, que varia de acordo com o fabricante escolhido. Existem blocos de concreto de alta qualidade cuja durabilidade é superior ao do tijolo maciço, mas em contrapartida há tijolos de barro com durabilidade superior aos blocos de concreto de baixa qualidade. Isso faz com que seja muitíssimo importante a boa escolha de fornecedor de blocos de concreto. Para ajudar nessa tarefa, a Associação Brasileira de Cimento Portland divulga lista das marcas que possuem o selo de garantia de adequação às normas da ABNT.

4.6.2. Impacto ambiental

Segundo a ABNT NBR 15575-1, os empreendimentos devem ser projetados de forma a minimizar a alteração do ambiente. A norma ainda diz que “devem ser privilegiados materiais e métodos construtivos que causem menos impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final” (ABNT, 2013a).

A norma não traz atributos numéricos (quantitativos) que possamos analisar o método construtivo e os materiais empregados quando a sustentabilidade e atribuir um nível de desempenho, como nos outros requisitos abordados até agora. O que pode ser feito é uma análise qualitativa, segundo as recomendações citadas acima.

A alvenaria estrutural é sem dúvida um sistema construtivo mais sustentável do que o sistema tradicional, principalmente pelos motivos indicados abaixo:

- Economia de madeira: como não se faz uso de pilares e vigas em alvenaria estrutural não é necessária a confecção de formas para os mesmos, reduzindo ou até mesmo eliminando (para escoras metálicas e certos sistemas de lajes) o uso de madeira na obra.

- Economia de aço, cimento, areia e brita: pela mesma ausência de alguns elementos como citado acima, no sistema construtivo em alvenaria estrutural tem-se uma economia gigantesca desses materiais.

- Construção racionalizada: A modulação, característica inerente ao método construtivo em alvenaria estrutural, faz com que se evite quebras e desperdício de material. Além de diminuir o impacto ambiental extra causado pelo desperdício, auxilia também na redução dos custos, podendo chegar a 15% se comparado ao método tradicional (Sieg, 2011).

- Tempo de execução: O tempo de construção também é reduzido em comparação com o sistema construtivo convencional (Sieg, 2011), o que contribui também numa redução dos recursos que são despendidos para manter a obra funcionando.

4.7. SÍNTESE DOS RESULTADOS E COMPARATIVO

A tabela 45 apresenta uma síntese dos resultados dos ensaios abordados nesse trabalho para que se possa ter uma visualização geral do desempenho do sistema estudado nesse trabalho.

Tabela 45 - Síntese dos resultados de desempenho

Requisito		Desempenho
Desempenho Estrutural	Impacto de corpo-mole	Superior
	Impacto de corpo-duro	Superior
	Solicitações de peças suspensas	Superior
Desempenho Térmico	Avaliação por ensaio do SVVIE	Mínimo (com ressalvas)
	Análise global de edificação contruída com blocos estruturais de concreto	Superior
Desempenho Acústico	Paredes externas	Intermediário – Superior
	Paredes internas	Insatisfatório - Mínimo
Estanqueidade	Infiltração decorrente da ocupação do imóvel	Insatisfatório
	Infiltração externa	Insatisfatório
Segurança Contra Incêndio		Incombustível – Superior
Sustentabilidade		Vantajoso em comparação com o sistema convencional

Fonte: Autor.

A tabela 46 traz um comparativo do desempenho do sistema estudado nesse trabalho com outros sistemas racionalizados abordados na revisão bibliográfica. Os dados de desempenho dos outros sistemas, utilizados para a realização do comparativo entre os sistemas, foram retirados dos Documentos de Avaliação Técnica (DATECs), produzidos por laboratórios a pedido do SINAT para liberação executiva desses métodos. O link de acesso desses documentos encontram-se na bibliografia deste trabalho.

Tabela 46 - Comparativo de desempenho entre sistemas construtivos racionalizados

SISTEMA CONSTRUTIVO	Desempenho Térmico (Zona 1)	Desempenho Acústico (redução de Db)	Segurança contra incêndio (minutos corta-fogo)
Alvenaria Estrutural em Blocos de Concreto	Superior	47	240
Light Steel Frame Saint-Gobain	Mínimo	51	30*
Painéis Pré- fabricados mistos PRECON	Superior	42	60
Painéis Pré- moldados maciços VIVER	Mínimo	48	30

* Para atendimento aos requisitos de segurança é necessária a utilização de duas chapas de gesso internas em ambientes que abrigam equipamento de gás.

Fonte: Autor.

5. CONCLUSÃO

Todas as características de desempenho aplicáveis a elementos de vedação do sistema de vedação vertical interna e externa foram analisadas nesse trabalho para o sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Nos requisitos de desempenho estrutural, o sistema analisado apresentou desempenho superior para todos os critérios.

Nos requisitos de desempenho térmico, quando analisado através de ensaio de protótipo do sistema de vedação, o desempenho apresentado foi mínimo para algumas situações zonas climáticas e insatisfatório para outras. Porém, quando analisado de maneira global, uma edificação de 17 pavimentos construída em alvenaria estrutural de blocos de concreto apresentou desempenho superior em todos os requisitos exigidos por norma. Essa análise mostrou que, apesar do sistema não apresentar excelentes propriedades de isolamento térmico, uma edificação estrutural em blocos de concreto bem planejada com relação a posicionamento de aberturas, escolha do sistema de cobertura e outros, pode apresentar desempenho térmico superior.

Nos requisitos de desempenho acústico, o sistema de vedação apresentou desempenho insatisfatório para vedações internas. O ensaio utilizado foi feito utilizando um corpo de prova com revestimento em gesso, espessura de 5mm. As construtoras e projetistas que fazem uso desse exato modelo analisado no ensaio (alvenaria estrutural em blocos de concreto com revestimento em gesso com 5 mm de espessura) nas suas edificações podem vir a ter que investir um pouco mais em revestimento para garantir atendimento a norma caso optem por continuar utilizando esse SVVIE.

Nos requisitos de estanqueidade, o desempenho apresentado foi totalmente insatisfatório. Porém, os corpos de prova possuíam apenas um pequeno revestimento externo e não apresentavam pintura.

Nos requisitos de segurança contra incêndio, o sistema apresentou desempenho superior. Vale lembrar que normas do corpo de bombeiro não foram analisadas nesse trabalho.

Apesar de não haver requisitos quantitativos no quesito sustentabilidade, uma análise feita nesse trabalho mostrou que o sistema apresenta menor impacto ambiental se comparado ao sistema construtivo convencional.

Conclui-se que é possível sim garantir o atendimento a ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho fazendo uso do sistema de vedação vertical interno e externo em alvenaria estrutural de blocos de concreto, desde que se tome alguns cuidados como utilização de revestimento e pintura que garantam desempenho acústico e estanqueidade assim como planejar a edificação de forma geral se preocupando em garantir um desempenho térmico satisfatório.

Notou-se ainda no comparativo com outros sistemas racionalizados, sistemas que também são promessas de baixo custo, rapidez e menor impacto ambiental, que o sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto possui um desempenho acima da média.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para próximos trabalhos, recomendo um estudo de revestimentos para atendimento completo aos requisitos de desempenho acústico e estanqueidade.

REFERÊNCIAS

PAULUZZI. **Alvenaria Estrutural**, 2015. Disponível em:

<<http://www.pauluzzi.com.br/alvenaria.php>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

FREIRE, B. S. **Sistema construtivo em alvenaria estrutural de bloco de concreto**. 2007. 44 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí

Morumbi, São Paulo, 2007. Disponível em:< <http://engenharia.anhembib.br/tcc-07/civil-09.pdf>> .

Acesso em 15 dez. 2015.

GUIMARÃES, A. H. **Análise da viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas**

construtivos aplicados às habitações de interesse social de Florianópolis. 2014. Trabalho de

conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina,

Santa Catarina, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/127116>> .

Acesso em 15 dez. 2015.\

CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Ilha Solteira, 2006. Apostila do

Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Disponível em: < [http://pontocad.com/wp-](http://pontocad.com/wp-content/uploads/2010/11/Projeto_de_edificios_de_alvenaria_estrutural.pdf)

[content/uploads/2010/11/Projeto_de_edificios_de_alvenaria_estrutural.pdf](http://pontocad.com/wp-content/uploads/2010/11/Projeto_de_edificios_de_alvenaria_estrutural.pdf) >. Acesso em: 4

jan. 2016.

ABCP. **Práticas Recomendadas – PR1. Como escolher e controlar a qualidade dos blocos**. São

Paulo, 2005. Disponível em: < [http://www.abcp.org.br/cms/wp-](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE1_Como-Escolher-Controlar-a-Qual-dos-Blocos.pdf)

[content/files_mf/PR_AE1_Como-Escolher-Controlar-a-Qual-dos-Blocos.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE1_Como-Escolher-Controlar-a-Qual-dos-Blocos.pdf)>. Acesso em 4 jan.

2016.

_____. **Práticas Recomendadas – PR2. Como projetar a modulação**. São Paulo, 2005. Disponível

em: < [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE2_Alvenaria-Como-Projetar-a-](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE2_Alvenaria-Como-Projetar-a-Modula%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf)

[Modula%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE2_Alvenaria-Como-Projetar-a-Modula%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf)>. Acesso em: 4 jan. 2016.

_____. **Práticas Recomendadas – PR3. Ferramentas para melhorar a qualidade e produtividade**

de sua obra. Disponível em: <

content/files_mf/PR_AE3_Ferramentas-Melhorar-Qual-e-Produt-Obra.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2016.

_____. **Práticas Recomendadas – PR4. Execução de Alvenaria – Marcação**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE4_Execu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o-de-Alvenaria_Marca%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf>. Acesso: 4 jan. 2016.

_____. **Práticas Recomendadas – PR5. Execução de Alvenaria – Elevação**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/files_mf/PR_AE5_Execu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o-de-Alvenaria_Eleva%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o.pdf>. Acesso 4 jan. 2016.

KAGEYAMA, T.; KISHI, S.; MEIRELLES, C. R. M. **As interferências do processo construtivo da alvenaria estrutural na redução dos custos na construção arquitetônica**. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, São Paulo, v.6, n. 6-10, p. 44-64. 2009. Disponível em: <<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/3326/2778>> . Acesso em: 7 jan. 2016.

EQUIPAOBRA. **Escantilhão para alvenaria estrutural**. 2014. Disponível em: <http://equipaobra.com.br/plus/modulos/catalogo/verProduto.php?cdcat_alogoproduto=17> . Acesso em: 7 jan. 2016.

GEROLLA, G. **Alvenaria Estrutural**. Revista Equipe de Obra, São Paulo, n. 58. 2013. Disponível em: <<http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/58/alvenariaestrutural-projeto-indica-posicao-exata-para-cada-tipo-279798-1.aspx>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

SANTOS, M. D. F. dos. **Técnicas construtivas em alvenaria estrutural: contribuição ao uso**. 1998. 157 f. Dissertação (PósGraduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998. Disponível em: <<http://www.ceramicapalmadeouro.com.br/downloads/santos1998.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

SELECTA. **Alvenaria estrutural**. 2016. Disponível em: < <http://selectablocos.com.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

TAVARES, J. H. **Alvenaria estrutural: estudo bibliográfico e definições**. 2011. 59 f. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011. Disponível em: < <http://ebiblio.ufersa.edu.br/Download/20640.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270 - 2 – Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 10636 Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5628 Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 14432 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15220 Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.

PRUDÊNCIO, Luiz; OLIVEIRA, Alexandre; BEDIM, Carlos. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2002.

SILVA, Sousa. **A evolução dos edifícios em alvenaria autoportante**. São Paulo, 2004. Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo. Disponível em: < <https://www.passeidireto.com/arquivo/4003409/a-evolucao-dos-edificios-em-alvenaria-auto-portante/2>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

KALIL, Sílvia. **Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre, 2007. 86p. Apostila de estruturas mistas – PUCRS . Disponível em: http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_

Madeira/Alvenaria.pdf. Acesso em: 15 jan. 2016.

CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Disponível em:

<http://www.cbic.org.br/arquivos/guia_livro/Guia_CBIC_Norma_Desempenho_2_edicao.pdf>.

Acesso em: 20 jan. 2016.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, p.79, 1999.

HENDRY, A.W. **Engineered design of masonry buildings: fifty years development in Europe**. Prog. Struct. Eng. Mater. 2002; 4:291–300. University of Edinburgh, Scotland.

CAVALHEIRO, O.P. **Alvenaria estrutural – tão antiga e tão atual**. Santa Maria, 2013. Universidade Federal de Santa Maria.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise de confiabilidade e da conformidade**. Porto Alegre, 2007. Dissertação de pós-graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SANTOS, E.R. **Alvenaria estrutural – características e especificações, instruções de transporte, estocagem e utilização**. Manual do Fabricante - CISBRA. Ijuí, 2012.

CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Faculdade de Engenharia da Ilha solteira – Universidade Estadual Paulista, 2001. 52p. Notas de Aula.

CAMPOS, I. M. **Procedimentos e cuidados na execução de alvenaria**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT. Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. **Análise da Resistência de Parede de Alvenaria com Blocos de Concreto Submetida a Altas Temperaturas**. Relatório Técnico No 21/2014. Porto Alegre. 2014.

VILATÓ, R. R; FRANCO, L. S. **Resistência a penetração de água da chuva da alvenaria estrutural**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2015.

NEVES, F. F. **Edificação em alvenaria estrutural – estanqueidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

MUSTELIER, N. L. **Estimativa do comportamento de paredes no ensaio de penetração de água de chuva através das propriedades de transferência de umidade dos materiais constituintes**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

SILVA, C. O. **Manual do desempenho – blocos de concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2014.

CB3E. **Relatório de ensaio nº 282/2014**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações – UFSC. Florianópolis, 2014.

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - UCS. Laboratório de Tecnologia Construtiva. Serviços Tecnológicos. **Avaliação de Desempenho Térmico por Simulação Computacional de Edifícios Habitacionais com Blocos de Concreto**. Caxias do Sul. 2014.

FUNDAÇÃO LUIZ ENGLERT. Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. **Análise da Resistência de Parede de Alvenaria com Blocos de Concreto Submetida a Altas Temperaturas**. Relatório Técnico No 21/2014. Porto Alegre. 2014.

_. Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais – LEME. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. **Análise da Resistência de Parede de Alvenaria com Blocos de Concreto Submetida a Altas Temperaturas**. Relatório Técnico No 22/2014. Porto Alegre. 2014.

TEIXEIRA, R. **A melhor estrutura**. Revista Casa e Construção. Editora Escala. São Paulo, 2016.

SIEG, A. P. **Alvenaria estrutural como alternativa para o desenvolvimento sustentável.**

Universidade Federal do Pampa. Bagé, 2011.

SINAT. **DATEc – Painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural – PRECON.** São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=7442eb42-99d2-4dc3-a073-01965e9e6808&ext=.pdf&cd=2293>> . Acesso em: 06 Jun. 2016.

SINAT. **DATEc – Sistema Construtivo a seco SAINT-GOBAIN - Light Steel Frame.** São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=1d3452b4-6aa3-4c59-a40d-8042e42f473c&ext=.pdf&cd=2633>> . Acesso em: 06 Jun. 2016.

SINAT. **DATEc – Sistema Construtivo VIVER de Paredes Constituídas de Painéis Maciços Pré-moldados de Concreto Armado.** São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=9bf0b188-94c8-432a-8b07-dc9f0223589b&ext=.pdf&cd=1624>> . Acesso em: 06 Jun. 2016.